Estratégias para redução do uso de combustíveis fósseis e seus derivados em processos de combustão e manufatura

LUCIMAR VENÂNCIO AMARAL
ANDRÉ GUIMARÃES FERREIRA

Editora Poisson

Lucimar Venâncio Amaral
André Guimarães Ferreira

Estratégias para redução do uso de combustíveis fósseis e seus derivados em processos de combustão e manufatura

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dra. Suelânia Cristina Gonzaga de Figueiredo
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E85r

Estratégias para redução do uso de Combustíveis fósseis e seus derivados em processos de combustão e manufatura / Lucimar Venâncio Amaral, André Guimarães Ferreira – Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2025

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-475-8
DOI: 10.36229/978-65-5866-475-8

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Combustíveis. I. AMARAL, Lucimar Venâncio II. FERREIRA, André Guimarães III. Título.

CDD- 621.0428

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br

Organizadores

Lucimar Venâncio Amaral

Doutoranda em Engenharia Mecânica pela UFMG, na área de energia e sustentabilidade, qualificada em 08/2023. Mestre em Engenharia Mecânica pela UFMG (2019), na mesma área. Foi bolsista de projeto de pesquisa celebrado via convênio UFMG e Petrobrás S.A. Bacharel em Engenharia de Materiais (2012) pelo CEFET-MG. Licenciada em química (2019). Atuou na indústria de manufatura metálica. Desenvolveu pesquisas na área de desempenho de aços alto carbono mediante utilização óleos biodegradáveis. Atua como docente no Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH) e Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG).

André Guimarães Ferreira

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1997), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2000) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2004). Atualmente é professor Titular do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, atuando no curso técnico de Mecatrônica, na Graduação em Engenharia de Materiais, Pós-graduação Lato Sensu em Tubulações e Sistemas de Utilidades Industriais e no Mestrado em Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Aproveitamento da Energia, atuando principalmente nos temas secadores solares, secagem solar, chaminé solar e simulação numérica.

SUMÁRIO

1. Introdução 06

1. Sistemas de injeção de água e etanol na admissão de motores de combustão interna 06

1.1. Funcionamento da utilização de injeção de água 07

1.2. Vantagens e desvantagens para ajustes do processo de combustão 07

1.3. Referencial teórico para combustão e injeção de combustível 08

1.4. Metodologia para métodos de injeção 13

1.5. Resultados para os processos de injeção 14

1.6. Conclusões acerca da injeção de água 22

2. Comparativo para a utilização de veículos e combustão e híbridos 25

2.1. Introdução ao uso das tecnologias híbrida e combustão convencional 25

2.2. Referencial teórico acerca das tecnologias para processos de combustão em motores 27

2.3. Metodologia comparativa para híbridos e elétricos 36

2.4. Conclusão acerca do comparativo entre híbridos e elétricos 42

3. Redução da utilização de fluidos de corte oleosos para processos fabris 46

3.1. Introdução ao uso de fluidos de corte oleosos 46

3.2. Conceituação teórica acerca dos fluidos de corte oleosos 48

3.3. Metodologia acerca da redução da utilização de fluidos de corte oleosos 54

3.4. Resultados alcançados acerca da redução da utilização de fluidos de corte oleosos 57

3.5. Resultados alcançados na redução da utilização de fluidos de corte oleosos 58

CAPÍTULO

01 Introdução

Desde o ano de 1973, o consumo de petróleo a nível mundial vem apresentando uma trajetória predominantemente crescente. O setor da economia que mais consome petróleo, em todo o mundo, é o setor de transportes.

No início do século XXI, a indústria automotiva, que já havia atingido um grau de maturidade e estrutura elevada, passou a ser pressionada pela globalização, regulações governamentais - relativas ao consumo de energia, emissões e segurança - e avanços tecnológicos nas áreas de eletrônica, comunicação e design.

A partir do conceito de sustentabilidade, grande parte dos fabricantes de veículos e autopeças tem ações programadas consolidadas para reduzir o impacto na natureza tanto de seus produtos quanto de seus processos de fabricação.

As montadoras de automóveis, por exemplo, já buscam definir os processos de produção alinhados às exigências da produção mais limpa e de ecoeficiência, com ações dirigidas para maior economia de materiais e de energia e enfatizando os aspectos da reciclagem, reutilização e redução de consumo.

1. SISTEMAS DE INJEÇÃO DE ÁGUA E ETANOL NA ADMISSÃO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Nos últimos anos várias tecnologias têm sido desenvolvidas com objetivo de melhorar os processos de combustão, tais como motores *flex*, motores tipo *downsizing*, veículos híbridos, dentre outros. Uma dessas tecnologias é a injeção de água ou de sua mistura com etanol com finalidade de extrair mais potência do motor, diminuindo o consumo de combustível, e tornando o funcionamento do motor mais harmônico (BOSCH, 2010).

Ao ser injetada na admissão do motor, a água tem como função realizar o resfriamento do ar que, entra para ser misturado ao combustível injetado. O resfriamento do ar causa um aumento na densidade do mesmo e consequentemente, aumenta a octanagem do combustível, o que torna a queima mais controlada, eliminando a pré-ignição e aliviando uma parcela do combustível que tem sua parte na tarefa de resfriamento, fazendo com que isso fique por conta da água injetada. (QUATRO RODAS, 2017)

A injeção de água e etanol na admissão proporciona diversos benefícios, um deles é o aumento de até 5% de potência, com uma economia do consumo de combustível de até 13% segundo a Bosch (BOSCH, 2010).

Este sistema pode trabalhar com um maior avanço de ignição e proporcionando mais potência e economia de combustível. A injeção de água/etanol tem uma combinação que varia de 100% de água à 50% de água / 50% de etanol que é pulverizada na admissão do motor.

À medida que o líquido é aspirado pelo motor, ele absorve energia térmica do ar circundante e viaja junto com o ar entrando no cilindro. À medida que a válvula de admissão se fecha, o líquido continua absorvendo energia térmica e quando o pistão começa a comprimir a mistura, ele permanece acima da chamada "temperatura de saturação", que é a temperatura que um líquido está exposto à uma mudança de fase convertendo-se em vapor (gás) como água fervente em uma certa temperatura.

Enquanto a água pura não contribui para ganhos significativos de potência, esse processo auxilia na redução das temperaturas de combustão e a medida em que a porcentagem de etanol introduzida nesta equação aumenta, mas energia é gerada pois o etanol tem elevado PCI (poder calorífico inferior) (LANZANOVA, 2013)

1.1. FUNCIONAMENTO DA UTILIZAÇÃO DE INJEÇÃO DE ÁGUA

Instalando-se um o kit de injeção de água, suprime-se o fenômeno da detonação evitando-se a combustão da mistura fora do tempo, abrindo a chance de se desfrutar de mais alguns graus de avanço de ignição sem correr esse risco e obter maior potência, torque e economia de combustível.

É importante lembrar que o módulo de injeção não faz isso acontecer na maioria dos carros, o módulo de injeção que chamamos de (UCE – Unidade de controle eletrônico) à partir de agora, não é programado para atender com essa nova performance, por isso o equipamento de injeção de água e etanol vai também comandar o avanço de ignição para um melhor aproveitamento do dispositivo agora instalado (PINOX, 2014).

Avançar o tempo de ignição base é uma modificação diferente de ajustar o tempo de ignição na (UCE) que varia de acordo com a carga e rpm, mas isso irá afetá-lo diretamente, pode-se pensar, por exemplo, em 4000 rpm com 100% de carga (aceleração aberta) o mapeamento dentro da (UCE) pode executar eletronicamente o avanço de ignição a 18 graus antes do *Top Dead Center* (TDC), se o tempo de ignição base for avançado 3 graus, então o tempo real será de 21 graus antes do TDC (BESTCARS, 2016).

1.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS PARA AJUSTES DO PROCESSO DE COMBUSTÃO

O avanço do ângulo de ignição tem o efeito de aumentar a eficiência do motor ao otimizar o tempo de emissão da faísca, quanto mais avançado for definido, mais energia o motor terá e a capacidade de resposta também será melhorada.

O risco, é que o motor estará mais próximo da região de detonação. A detonação ocorre quando uma frente de chama adicional inflama, comprometendo a vida útil do motor, levando ao consumo exagerado de combustível, perda de potência e a alta emissão de poluentes na atmosfera, na maioria das vezes essa chama acende-se muito cedo e então colide com chama produzida a partir da vela de ignição. O pistão ainda pode estar percorrendo o cilindro em seu estágio de compressão e de repente encontra-se com a força das frentes de chama tentando empurrá-lo para baixo forçando contra seu curso, o resultado é que o pistão chacoalha de um lado para o outro e esmaga os anéis do pistão, isso resultará em perda de compressão e aumento do consumo de combustível.

A detonação resultante deste pode ser intensa o suficiente para fundir os pistões (PINOX, 2014).

A detonação deve ser evitada a todo custo, a forma mais fácil de evitar isso é resfriando o ar de admissão com injeção de água e etanol. A proposta deste trabalho será analisar o comportamento do motor, por meio de outros artigos, usando o kit de injeção de água e etanol na admissão do motor.

1.3. REFERENCIAL TEÓRICO PARA COMBUSTÃO E INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Nesta sessão serão descritos os principais trabalhos desenvolvidos na área de injeção de água nos processos de combustão.

De acordo com Greeve (1976) a introdução de água em uma mistura heterogênea ar/combustível oferece alguns benefícios, como a redução de temperatura no sistema, melhora a atomização e reduz as emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado.

A redução nas emissões do material particulado é pela ocorrência de micro explosões causadas pelo efeito perturbador da vaporização de água nas gotículas de combustível no período de aquecimento das gotas.

Em um experimento Greeves (1976) testou três formas de injeção a água, a primeira foi na entrada do coletor de admissão, outra em injeção direta na câmara de combustão com utilização de duas bombas e dois injetores e por último umas injetadas diretamente na câmara em forma de emulsão utilizando duas bombas e um injetor.

O resultado desse sistema de injeção de água no coletor de admissão teve uma qualidade significativa (tabela abaixo), por vez que não necessita de mudanças diretas no motor utilizado e tem um custo bem inferior aos outros.

A principal vantagem da injeção de água no coletor de admissão, é a sua praticidade para ser adicionada aos motores já existentes no mercado e aos que serão desenvolvidos. Neste sistema a água é injetada através de uma válvula separada e não se mistura diretamente com o combustível.

A utilização da água por ser bastante acessível, não exige mudanças diretas no motor e tem um baixo custo comparado aos demais, torna o processo uma alternativa muito viável, outra vantagem é a capacidade de redução dos níveis de emissões e também do consumo específico.

Com relação as desvantagens, não foram obtidos resultados negativos com os métodos utilizados.

A Tabela 1 sistematiza as emissões, consumo de combustível e atraso de ignição obtidos em rotação de 2000 rpm.

Tabela 1. Emissões, consumo e atraso de ignição

Rotação do motor (rev/min)	Razão W/F vol.	NO	Fumaça	CO	SFC	Atraso
	0,5	0,7	1,25	1,20	1,1	1,10
2000	1,0	0,49	1,25	1,45	1,06	1,33
	1,4	0,38	1,20	1,61	1,06	1,37

Fonte: Greeve, 1976

A pesquisa apresentada por Bernal (2019) apresenta os resultados da implementação utilizando simulação computacional de um modelo termodinâmico de duas zonas que integra a injeção de água líquida diretamente na câmara de combustão, em um motor que utiliza etanol como combustível.

O modelo proposto interpreta a partir da termodinâmica o comportamento da água no interior do cilindro quando é injetado na forma líquida durante qualquer momento do ciclo. Até agora, esse tipo de análise foi realizado por meio de testes experimentais. Aqui a influência da água do ponto de vista teórico é estudada usando simulação.

O modelo é validado comparando seus resultados com os da pesquisa experimental que implementa a mesma técnica de injeção de água proposta. A pesquisa mencionada usa um protótipo de motor que usa gasolina como combustível.

Ao comparar alguns dos parâmetros operacionais, como a pressão no interior do cilindro, o consumo específico de combustível efetivo ou a taxa de liberação de calor durante a combustão, verifica-se que o modelo se comporta muito próximo do que foi relatado nos dados experimentais. Outras variáveis, como as emissões de NOx, apresentam tendências semelhantes entre o comportamento experimental e o simulado, apesar da grande variabilidade dos dados experimentais.

Por fim, o modelo apresenta grande flexibilidade, pois pode ser utilizado para simular diferentes geometrias de motores, regimes de rotação e uso de combustíveis como gasolina, etanol, etanol hidratado e misturas destes em diferentes proporções.

Utilizando modelos matemáticos de injeção de água combinados com modelos termodinâmicos de combustão e simulação computacional, foi possível demonstrar que é possível prever através de simulação numérica o desempenho de um motor de combustão interna com injeção de água.

Uma desvantagem foi em relação à fração de massa queimada, a comparação entre os resultados experimentais e os resultados fornecidos pelo modelo de simulação, apresenta margens de erro entre 9 e 13%. A razão desta discrepância pode ser devida à transferência de calor entre as paredes do cilindro e os gases nele contidos, especialmente na fase anterior ao início da combustão.

Melo (2012) desenvolveu um estudo de análise de desempenho do uso de etanol na água em motores, que tinha como objetivo principal avaliar a influência do uso do etanol e água em motores do ciclo diesel, operando com um biocombustível que, no caso, consiste no biodiesel de soja, podendo assim ser uma opção mais viável.

Com esses métodos obteve uma metodologia para o uso de etanol e água em motores por ignição por compressão. Neste trabalho, foi proposta uma metodologia para o uso de etanol e água em motores por ignição por compressão, produzido pela Faculdade do Gama (FGA) – Universidade de Brasília (UNB) por rota metílica. A mistura de etanol e água consistiam em uma proporção de 50% para cada componente, sendo vaporizados na admissão do motor. Realizaram testes com a mistura do diesel com biodiesel em várias proporções, no intuito de consumo específico e emissões sendo analisado para carga parcial.

Foram comparados os resultados obtidos com o motor operando com diesel comercial (B0 – S500) e com o biodiesel de soja, com e sem o uso do sistema de injeção de etanol e água para este biocombustível. Os testes indicaram uma queda no rendimento térmico do motor, bem como o aumento do consumo específico com o uso do sistema de vaporização de etanol e água, quando comparados com o motor operando sem o uso do sistema, para o uso do diesel e do biodiesel.

A combinação de etanol e água com o biodiesel apresentou um aumento nas emissões de CO e hidrocarbonetos não queimados. Houve uma redução esperada nos índices de CO_2, uma vez que uma maior proporção de combustível sofreu combustão incompleta. Em relação a esta combinação foram percebidas em alguns casos melhorias no desempenho de motores operando com a utilização desse sistema. Um considerável aumento da eficiência com o uso desse combustível foi constatado em rotações mais elevadas. Uma queda na temperatura do ar de admissão proporcionou um aumento na eficiência volumétrica do motor, proporcionado pelo respectivo aumento na massa de ar admitida por causa do aumento da densidade.

O aumento da eficiência foi constatado por Abu-Qudais *et al*. (2000), com a injeção de etanol na admissão. Os autores relatam que o leve ganho de eficiência térmica pode ser atribuído ao atraso da ignição e nesta condição, uma rápida taxa de energia é liberada, reduzindo as perdas de calor para o motor, pois não tem tempo suficiente para que este calor possa deixar o cilindro por transferência calor com as suas paredes.

Entretanto esse processo causa um aumento considerado de emissão de níveis de CO, sendo essa característica comum para as misturas de diesel e biodiesel na maioria das proporções. O aumento de emissão de CO é resultado de uma combustão incompleta. Tais níveis podem ter sido causados pelo maior atraso da ignição, questão observada nos testes realizados por Reis (2004), que relata a presença desse efeito em maior presença em parciais cargas. Em alguns testes esses níveis de CO chegaram a níveis extremos, principalmente para o combustível B100, quem chegaram a níveis vinte vezes dos valores obtidos sem o uso do sistema de injeção de etanol e água.

Bertoni (2020) **e**studou a investigação com base em experimentos o comportamento termomecânico e as respectivas emissões de um motor de ignição por compressão monocilíndrica, sendo operada em condição original, com fumigação de água na admissão e operando em modo bicombustível com fumigação de etanol super-hidratado.

Como base na avaliação da eficiência termomecânica e emissões de um MCI(motor combustão interna) de ignição por compressão, ele opera com fumigação de água líquida na admissão (visto como uma técnica, a fumigação suplementa o combustível em um MCI, tendo através de carburação ou sistema de injeção uma introdução do combustível, sendo atomatizado no ar de admissão.), etanol hidratado, trazendo uma transformação na energia que fica proveniente de uma reação química em energia mecânica, tendo processo

de conversão de ciclos termodinâmicos que envolvem expansão, compressão e mudança de temperatura dos gases.

A fumigação nada mais é, que, uma técnica em que suplementa o combustível em um motor de combustão interna, tendo através de carburação ou sistema de injeção uma introdução do combustível auxiliar, sendo atomatizado no ar de admissão. Tendo também mínimas alterações, flexibilidade de operação, sendo suplementar e podendo ser desabilitado podendo fazer o motor operar em condições originais e tendo também o sistema ETH (Etanol hidratado) que diminui o índice de fumaça do motor.

Para os ensaios realizados, houve o uso dos métodos de variação da rotação de 1800 a 2800 rpm, os combustíveis utilizados mantiveram suas características nas propriedades físicas e energéticas. Foi instalado o sistema de fumigação de admissão no motor, tendo controle eletrônico para a injeção.

Em um total de dezoito ensaios experimentais dinamométricos do motor monocilíndrico ciclo Diesel, com nove configurações diferentes de operação do motor, tendo uma divisão de dois ensaios por cada configuração, sendo, quatro ensaios de fumigação de etanol super-hidratado e quatro com fumigação de água. Foi feito uma razão volumétrica de 10% a 25% do consumo de óleo diesel.

Para um dos ensaios, foi notado que ocorreu um aumento de torque de até 14,7% e um aumento de potência de até 15,4%, sendo uma vantagem gerada por conta da não substituição de óleo diesel por etanol super-hidratado nas condições de porcentagem acima. Já a fumigação de água líquida provocou uma redução do torque de até 3,2% e da potência de até 5,4% nas mesmas condições. Foi notado que houve uma inconsistência do dinamômetro utilizado nesta faixa de rotação (1.800 e 2.200 rpm), podendo destacar que houve comportamento distinto entre ambos os métodos de fumigação utilizados na relação à eficiência de conversão dos combustíveis.

Houve presença de hidrocarbonetos nos gases de escapamento, onde é evidente um sinal de que parte do combustível não foi oxidado durante a combustão, favorecendo uma formação do monóxido de carbono por conta de um mal balanço químico. Ainda nos gases de escapamento, notou-se redução da temperatura de combustão, redução da emissão de NOx de até 38%, por conta da injeção de etanol super hidratado e injeção de água.

Foi possível concluir, que etanol super-hidratado na admissão, com um motor equipado com injeção mecânica não afetaram negativamente de forma considerável o desempenho do motor, e sim, teve crescimento. Porém, houve impactos negativos nos níveis de índice de fumaça, emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

Rocha (2018) analisou a injeção de água e variação da razão volumétrica de compressão no motor com a finalidade de mitigar a detonação e melhorar o desempenho. As condições experimentais utilizaram um motor com razão volumétrica de compressão igual a 15:1 operando com E27, rotação igual a 2000rpm e pressão média efetiva indicada (IMEP) de 6bar com ocorrência de detonação intensa foram reproduzidas numericamente por dinâmica dos fluidos computacional tridimensional utilizando o programa comercial STAR-CD®.

Essa simulação foi feita para investigar qual estratégia apresenta maior potencial para mitigação da detonação e melhoria dos parâmetros de desempenho na condição de operação estudada, sendo elas aplicar a tecnologia de injeção de água ou alteração da razão volumétrica de compressão.

Observou-se a mitigação da detonação para todas as porcentagens de água injetada (10%, 15%,20%,25% da massa de combustível). Todas as simulações finais com injeção de água apresentaram os menores valores de temperaturas máximas no cilindro, mesmo para o caso final com injeção de 20% de água, no qual a pressão no cilindro foi a mais elevada após a recuperação do avanço de ignição. Concluiu-se também que a diminuição da razão volumétrica de compressão para 14:1 proporcionou aumento de potência indicada.

A injeção direta de água é mais vantajosa que a injeção indireta por permitir maior flexibilidade quanto às estratégias de injeção, possibilitando mais de uma injeção por ciclo e diferentes instantes possíveis para início da injeção. Além disso, a injeção direta pode beneficiar a estrutura do escoamento no cilindro. É possível concluir que os ganhos percebidos individualmente nas estruturas de *tumble*, *cross-tumble* e *swirl* (Os movimentos básicos dentro do cilindro que definem a estrutura primária do escoamento são o *tumble* e o *swirl*. O *swirl* é o movimento de rotação em torno do eixo central do cilindro e o *tumble* é a rotação perpendicular a esse eixo.) devido à injeção direta de água nas simulações finais são refletidos na energia cinética turbulenta, aumentando a intensidade do escoamento no cilindro de -310º até -270º.

Neste trabalho a injeção indireta de água trouxe impactos negativos mais significantes para o IMEP (Pressão Media Efetiva Indicada) e potência que a injeção direta, o que dificulta uma posterior recuperação ou melhoria desses parâmetros com a recuperação do avanço de ignição.

Júnior (2013) busca analisar os efeitos da injeção de água na performance e emissões de poluentes em motores a diesel-biodiesel. Utilizou-se o método de admissão da água em forma de névoa e/ou vapor, pois é processo simples de se executar, é bastante eficaz para redução de NOx (Óxidos de nitrogênio), e outro aspecto que o torna viável é a facilidade de instalação, pois não precisa de nenhuma modificação no motor, bastando apenas de uma válvula de admissão de ar.

Nesse experimento foi utilizado um gerador de 12kW, que fornecia aos motores de combustão interna a diesel/biodiesel de 2 cilindros, 1.884cm^2 cilindradas e com potência de 23cv uma rotação de trabalho de 1.800rpm.

Com os testes realizados, constatou-se que conforme a adição de água na mistura diesel-biodiesel percebeu-se uma redução no consumo de combustível de até 10%, porém só em misturas baixas e médias, misturas em grande quantidade não teve valores significativos.

A diminuição da temperatura de exaustão (temperatura dentro do cilindro) é considerável com baixas adições de água, por isso, não necessitando de uma maior gasto para o resfriamento.

A emissão de poluentes é uma relação de ar/combustível. Como dito anteriormente, em baixas e médias misturas de água, tende-se a consumir menos combustível e consequentemente diminuir a emissão de poluentes, dessa forma, uma mistura grande de água faz com que as emissões de poluentes se mantem a mesma ou até aumentem.

Para redução de NOx a adição de água não é determinante, mas observou-se que a mistura foi benéfica para a sua redução.

Os ganhos de potência não foram tratados diretamente nesse trabalho, pois foi utilizado um motor elétrico para a realização dos testes, mas percebeu-se baseado em outros resultados, como na análise de emissões de emissões de NOx, à medida que a emissão de NOx diminui com a injeção da mistura no combustível é com maior potência. Com as misturas baixas e médias de água é possível obter um ganho na potência.

1.4. METODOLOGIA PARA MÉTODOS DE INJEÇÃO

A presente obra visa comparar os diversos métodos de injeção de água e etanol em motores de combustão interna e permitir que se conclua qual a mais adequada metodologia de injeção para uso da água e do etanol como agentes auxiliares na melhora do processo de combustão. Esta comparação será feita através da Tabela 2.

Tabela 2. Compilação dos trabalhos revisados

Autor, ano	Motor, Método e combustível injetado	Vantagens em consumo e emissões
Rocha, 2018	Injeção direta e indireta, Etanol (E27) e percentagens de água na proporções de 10%, 15%, 20% e 25% da massa total de combustível injetada	Obteve melhoria em consumo de combustível com a proporção de 10% de agua. Não foram analisadas emissões de poluentes nos métodos.
Júnior, 2013	Utilizou-se o método de admissão da agua em forma de névoa e/ou vapor na proporções de 10%, 50% e 100% no combustível diesel-biodiesel	Obteve uma melhoria de 10% no consumo de combustível nas proporções de 10% e 50% de H2O e pelo método de injeção utilizado, obteve a diminuição de emissões de NOx e com o baixo consumo de combustível, pois a emissão de poluentes é uma relação de ar/combustível, obteve uma redução na emissão desses poluentes (CO2).
Greeves, (1976)	Testados em três formas de injeção sendo elas injeção a agua na entrada do coletor de admissão. Em injeção direta na câmara de combustível utilizando duas bombas e dois injetores. E diretamente na câmara porém em forma de emulsão diesel-água	A redução da temperatura do sistema, a melhora da atomização e redução nas emissões de óxidos de nitrogênio e de material particulado.
Melo, (2012)	Foi utilizado um motor do ciclo Diesel sobrealimentado sem intercooler. Sendo os combustíveis utilizados diesel (puro) e biodiesel, onde as misturas Foram realizadas com as proporções equivalentes de ambos.	Em alguns casos obteve melhorias no desempenho do motor, sendo percebida uma melhoria na emissão de NOx
Ivan Luiz Bertoni Junior, 2020	Motor monocilíndrico, marca Agrale, modelo M93. Teve com métodos a análise de desempenho de um motor ciclo diesel operando com fumigação de etanol super-hidratado, tendo comparativos com a condição original. Combustíveis utilizados foram, Biodiesel (biocombustível), Etanol (biocombustível líquido e Óleo diesel (combustível líquido).	Houve reduções notáveis nas emissões de CO e CO2, tendo menor temperatura do escape. Visto amostra com substituição energética de 51,3%, apresenta-se os melhores resultados de desempenho e eficiência.

Fonte: Autores

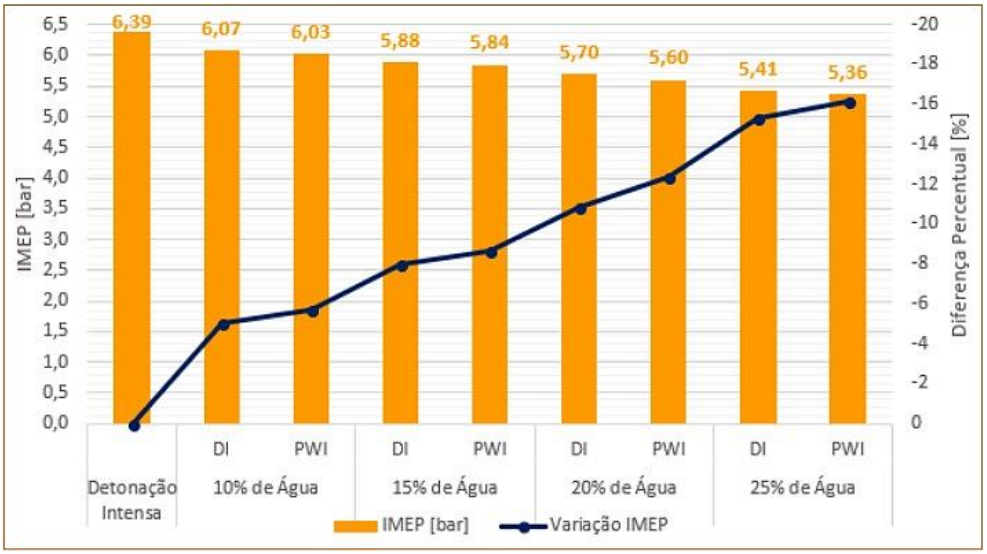
1.5. RESULTADOS PARA OS PROCESSOS DE INJEÇÃO

Analisando e comparando os métodos e resultados dos trabalhos utilizados na metodologia , observou-se que o método de injeção diretamente na câmara de combustão, juntamente com uma proporção de 10% de mistura agua-etanol à massa especifica de combustível, seja num motor de ciclo Otto ou ciclo Diesel, foi de maneira geral o que mais apresentou resultados benéficos, em questão de redução de consumo especifico de combustível e redução de emissão de poluentes, visto que com a redução temperatura da câmara de combustão, menos poluentes serão gerados no processo de combustão e haverá a melhoria de desempenho destes motores.

Além dos efeitos da injeção de água na pressão e temperatura no cilindro, são observadas alterações também na pressão média efetiva indicada e na potência.

A Figura 1 ilustra os valores do IMEP e sua redução percentual em relação à simulação referência para cada uma das estratégias de injeção de água utilizadas. Analogamente, a Figura 2 representa essas diferenças para a potência indicada em cada caso estudado quando comparados à simulação com detonação intensa.

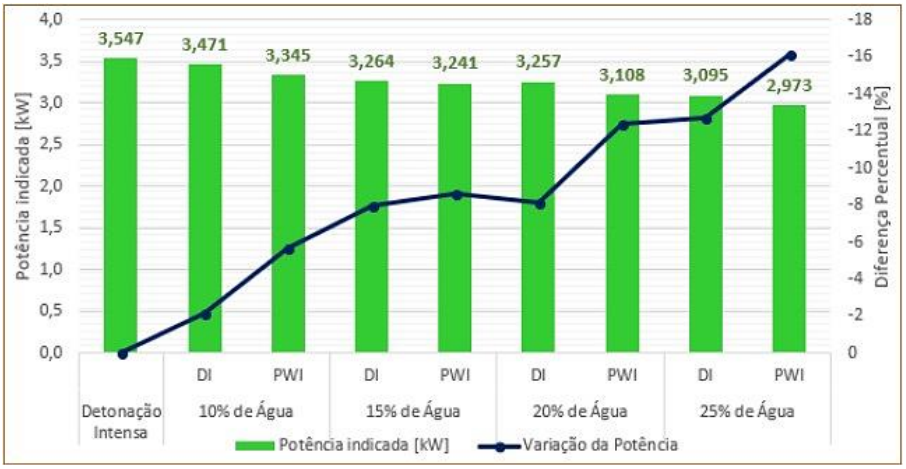
Figura 1. IMEP e sua variação para o caso referência com detonação intensa e para os casos com injeção de água, todos com avanço de ignição igual a 28.



Fonte: Rocha (2018)

Assim como observa-se para pressão e temperatura, na Figura 3 mostra-se que a redução do IMEP para uma mesma quantidade de água injetada é maior ao utilizar a injeção indireta que a direta. Além disso, quanto maior a porcentagem de água injetada, maior é a redução no IMEP observada, de forma que a redução máxima de IMEP chega a ser igual a 16,2% para a simulação com injeção PWI de 25% de água.

Figura 2. Potência indicada e sua variação para o caso referência com detonação intensa e para os casos com injeção de água DI e PWI, todos com avanço de ignição igual a 28°



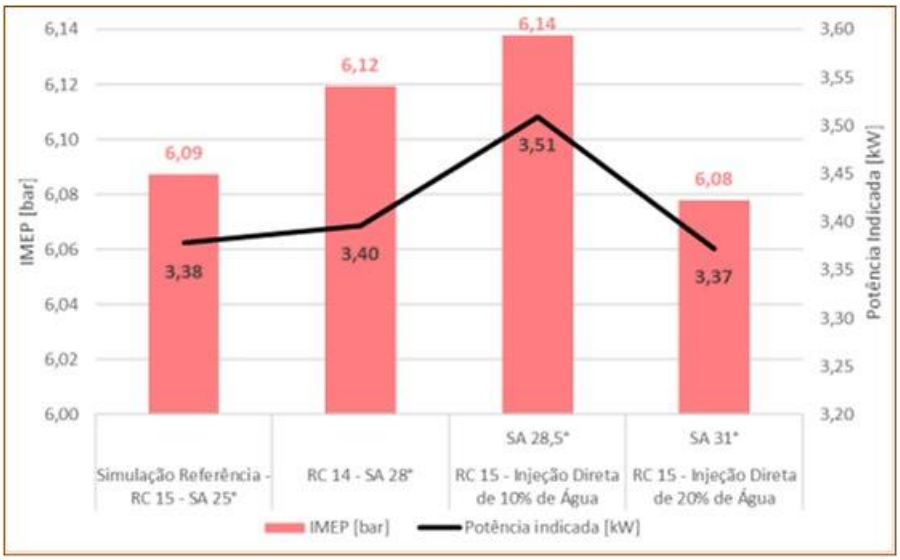
Fonte: Rocha (2018)

Em relação à potência indicada, a redução também se torna mais significativa com o aumento da quantidade de água injetada, sendo que, para uma mesma porcentagem de água, essa perda de potência é novamente maior para a injeção PWI que DI.

Esse efeito é claramente observado para 20% de água injetada diretamente, já que nesse caso a diminuição da potência é menor que a redução verificada para a injeção PWI de 15% de água.

A Figura 3 apresenta os valores de IMEP (pressão média efetiva indicada) e potência indicada para as simulações finais no limite de detonação inferior e é possível visualizar os efeitos da redução da razão volumétrica de compressão e da injeção de água em relação à simulação de referência.

Figura 3. Valores de IMEP e potência indicada para as simulações finais no limite de detonação inferior



Fonte: Rocha (2018)

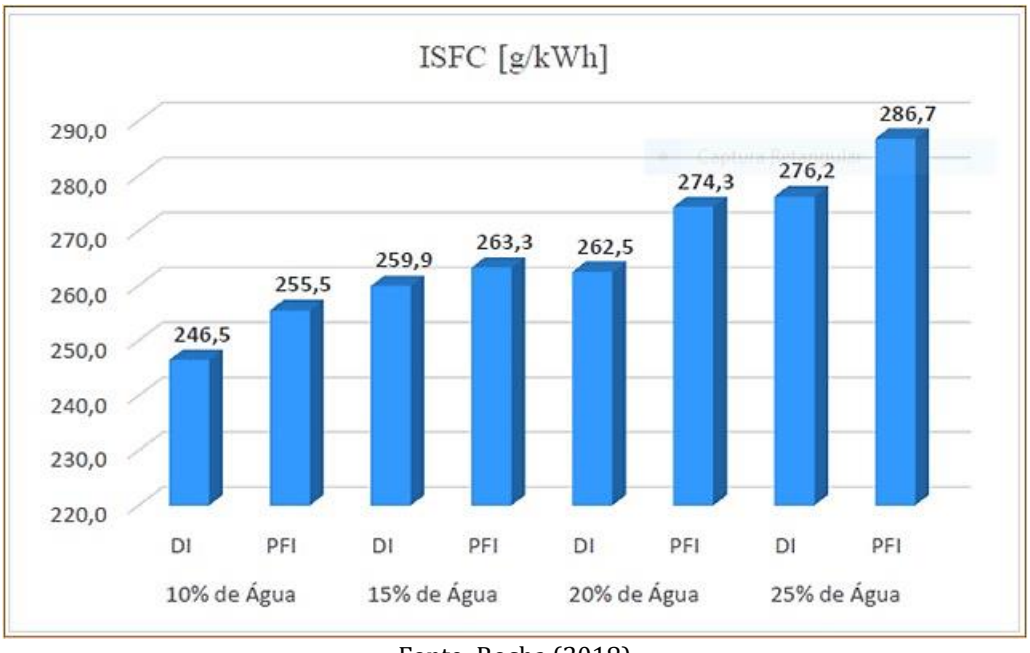
Como mostra a Figura 3, a redução da razão volumétrica de compressão proporciona um ligeiro ganho na potência e no IMEP, de cerca de 0,53%. Essa diferença mostra que a redução de RC faz com que a potência e IMEP da simulação com razão 14:1 atinjam o desempenho da razão 15:1 para a condição estudada e ainda apresente pequenos ganhos. Essa constatação ocorre apesar dessa simulação com RC 14:1 não possibilitar uma recuperação do avanço de ignição para que ele fosse maior que 28º, como mostra o item 4.5.3.

Para a simulação com injeção de 10% de água, devido à recuperação do avanço de ignição, observa-se o melhor desempenho entre todos os casos estudados ao comparar IMEP e potência indicada, sendo que ela apresenta um aumento de 0,84% para IMEP e um ganho de 3,89% na potência indicada. Dessa maneira, a injeção de água para mitigação da detonação aliada à recuperação do avanço de ignição contribui para que o desempenho do motor seja beneficiado.

Já a injeção de 20% de água, apesar de permitir a maior recuperação do avanço de ignição entre todos os casos finais estudados, apresenta praticamente uma equivalência de potência e IMEP em relação à simulação referência, já que as diferenças foram de aproximadamente 0,15%. Isso mostra que apesar da maior quantidade de água facilitar uma recuperação do avanço de ignição, nem sempre ganhos serão observados para os parâmetros de desempenho, que se mostram mais elevados para 10% de água, que é praticamente a quantidade de água necessária para mitigar a detonação e permite uma pequena recuperação do avanço de ignição de 0,5º, como mostra o item 4.4.2.1.

Como constatado, a potência indicada e IMEP diminuem à medida que a quantidade de água injetada aumenta, comportamento que é ainda mais pronunciado para a injeção PWI. Sendo assim, a Figura 4 apresenta o consumo específico indicado de combustível para todos os casos com injeção de água para mostrar a variação desse consumo de acordo com as estratégias e quantidades de água injetada.

Figura 4. Consumo específico indicado de combustível para os casos com injeção de água DI e PWI, todos com avanço de ignição igual a 28°

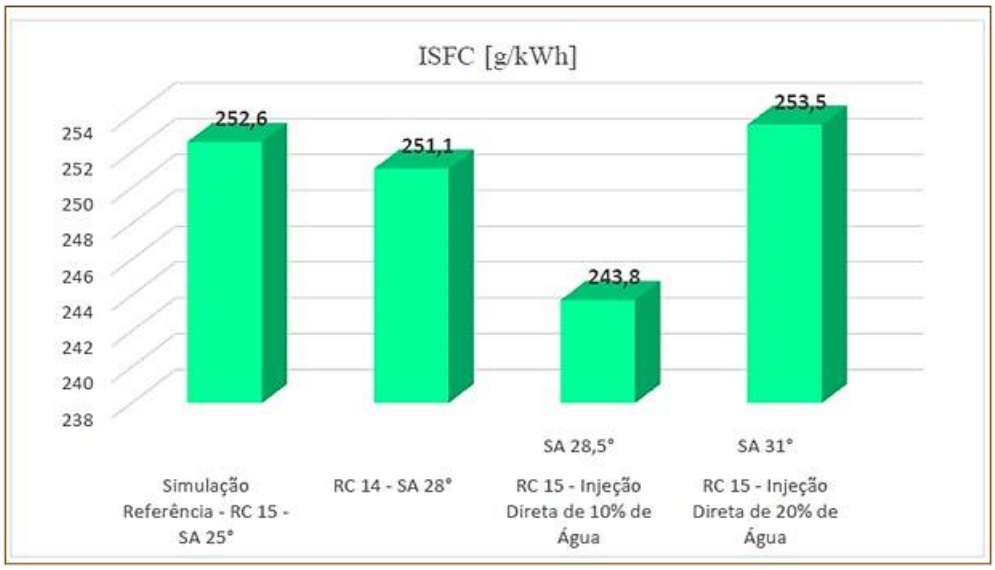


Fonte: Rocha (2018)

Assim como observa-se para a potência, em geral o ISFC se eleva à medida que a quantidade de água injetada aumenta, mas a injeção de 20% de água DI apresenta um valor de ISFC menor que para a injeção de 15% de água PWI, o que indica vantagens proporcionadas pela estratégia de injeção direta de água.

A Figura 5 mostra o consumo de combustível para as simulações finais no limite de detonação inferior. Assim como observado para IMEP e potência indicada, a simulação com injeção direta de 10% de água apresenta vantagens em relação à simulação referência, com redução no consumo equivalente a aproximadamente 3,50%.

Figura 5. Consumo específico de combustível indicado para cada uma das simulações finais no limite de detonação inferior



Fonte: Rocha (2018)

Como a injeção de 20% de água proporciona resultados muito semelhantes aos da simulação referência para a potência indicada, o mesmo comportamento é observado para o consumo específico de combustível, que é ligeiramente maior.

O caso com redução da razão de compressão apresenta consumo específico 0,59% inferior ao da simulação referência, o que representa uma vantagem, mas não tão expressiva quanto a possibilitada pela injeção de 10% de água.

Portanto, a simulação com injeção de 10% de água, equivalente à porcentagem necessária para mitigar a detonação na condição estudada do motor, proporciona um aumento da potência indicada e da tolerância à detonação, além de diminuir o consumo específico indicado de combustível.

Como mostrado anteriormente na Figura 1 e na Figura 2, a injeção indireta de água traz maiores perdas para o IMEP e a potência indicada que a injeção direta, o que dificulta uma posterior recuperação ou melhoria desses parâmetros com a alteração do avanço de ignição. Com isso, a injeção direta de água foi escolhida como uma estratégia mais adequada para este estudo, já que não houve diferenças significativas em relação à intensidade do escoamento na comparação das estratégias utilizadas.

Além disso, todas as porcentagens de água injetadas se mostraram efetivas para suprimir a detonação do caso referência, o que fez com que a injeção DI de 10% de água fosse escolhida como a estratégia ideal para ser investigada. Para um estudo dos efeitos da injeção de uma quantidade de água superior àquela necessária para que não ocorra detonação, o que pode permitir uma maior recuperação de avanço de ignição, optou-se também por uma complementação com a análise da injeção DI de 20% de água.

Através do cálculo ($PCI = 339 \cdot \%C + 1030 \cdot \%H - 109 \cdot (\%O - \%S) - 24 \cdot \%W$) observa-se os resultados do poder calorífico inferior dos combustíveis, sendo eles OD (Óleo Diesel) e ESH (Etanol super-hidratado).

Para cada característica exposto na Tabela 3, houve uma porcentagem de gasto calorífico relacionado a cada combustível.

Tabela 3. Poder Calorífico Inferior dos combustíveis

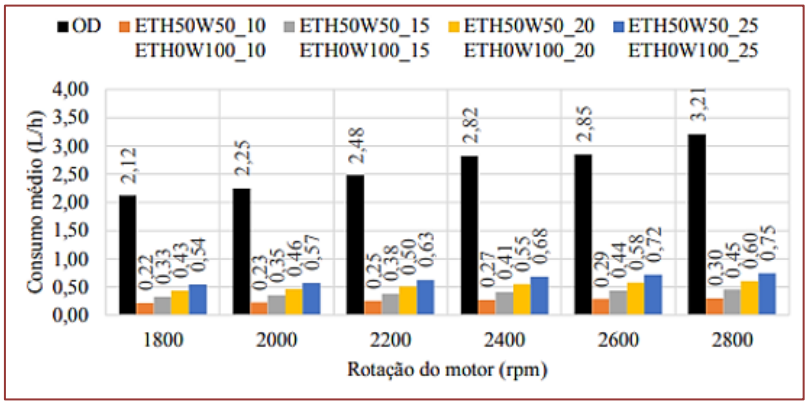
Característica	Óleo Diesel	Etanol super-hidratado
H2O	0 %	50%
Cinzas	0%	0%
C	86,1%	24,2%
H	12,4%	6,57%
N	0,04%	0,02%
S	0,04%	0%
O	1,4%	19,09%
PCI (bs)	41.186,1 kJ/kg	25.856,0 kJ/kg
PCI (bu)	41.186,1 kJ/kg	11.678,0 kJ/kg

Fonte: Junior (2020)

Além disso, analisou-se também um resultado em cima do consumo médio de OD (Óleo Diesel) e FF (Fluído de fumigação), que por sua vez obteve um auxílio do sistema de injeção reprogramável Fueltech. Sendo assim, determinou-se um ajuste correto em base de um ensaio testemunha para que resultassem os percentuais volumétricos propostos.

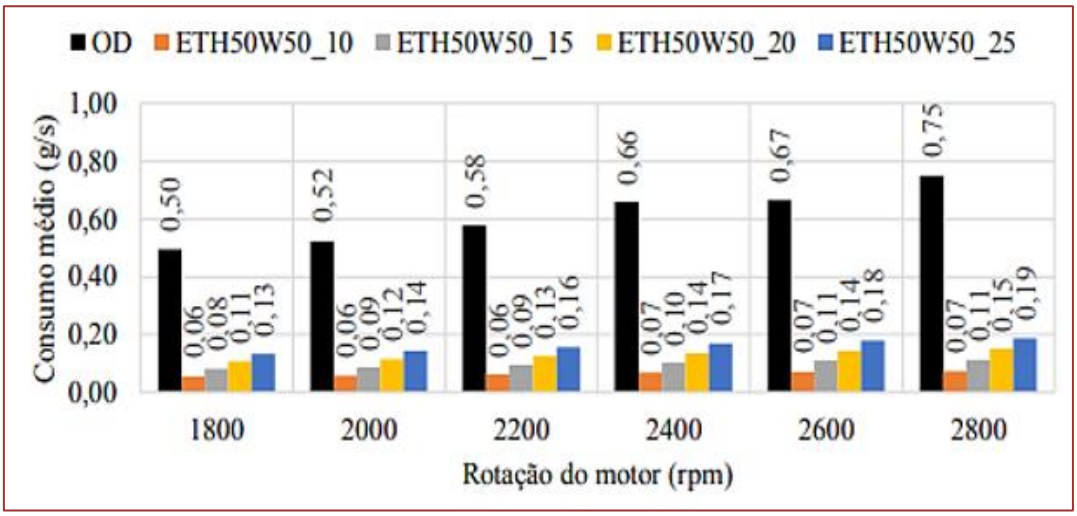
Com um ajuste feito na Fueltech, houve correções a cada 500 RPM, trazendo alguns desvios claros que mostramos na tabela abaixo. Nota-se através das Figuras 6, 7 e 8 os consumos mássicos de OD (Óleo Diesel), ESH (Etanol super-hidratado) e água para as rotações ensaiadas.

Figura 6. Consumo específico x rotação



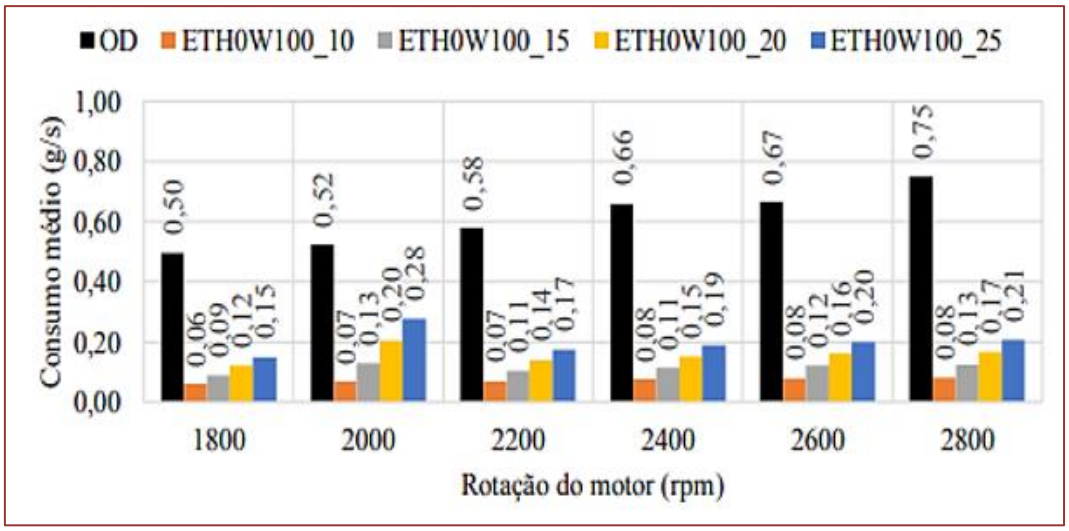
Autor: Junior (2020)

Figura 7. Consumo mássico x rotação



Autor: Junior (2020)

Figura 8. Consumo mássico de água x rotação

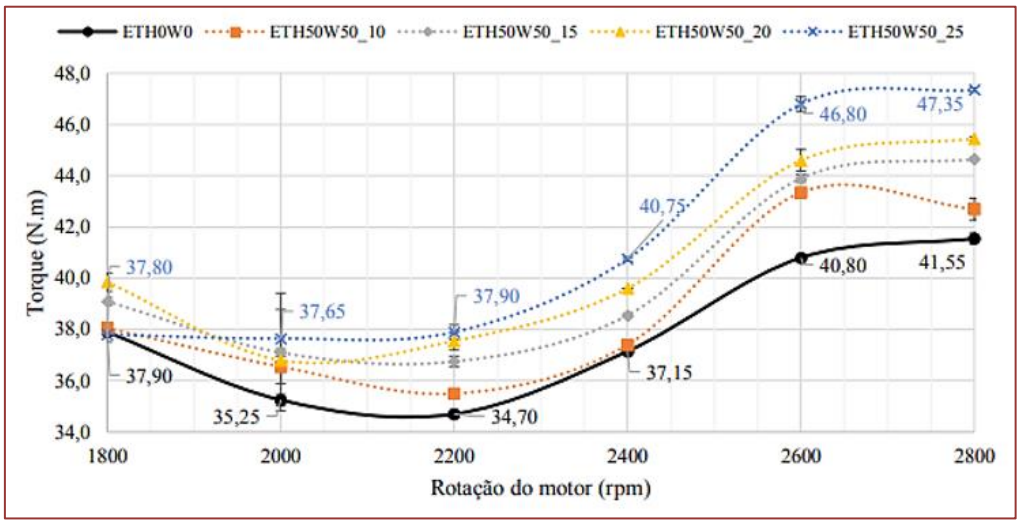


Autor: Junior (2020)

Com nos gráficos e tabelas, em superação as expectativas de início, se obteve um desempenho satisfatório. Em um resultado mais elaborado apresenta-se abaixo gráficos (Figuras 9 a 11) representando o ganho de torque, potência e consumo e específico de combustíveis.

Como citado a cima, o desempenho satisfatório teve bons resultados nas faixas de torques em cima de todos os ensaios realizados. Sendo assim, no ensaio ETH50W50_25 ocorreu o maior ganho médio de torque, 9%, e o menor ETH50W50_10 apresentou o menorganho médio, 3%. Na Figura 9 abaixo, nota-se que há um comportamento constante entre 1.800 e 2.200 rpm.

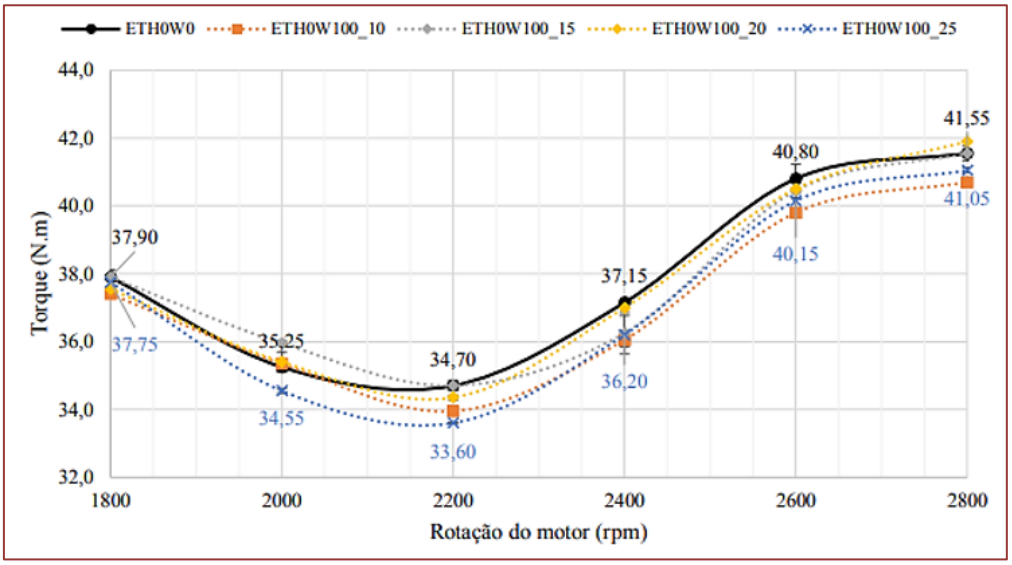
Figura 9. Torque com fumigação



Autor: Junior (2020)

Já nos ensaios com a fumigação de água, é notável que, há um comportamento regular das curvas de torque, resultando em uma pequena redução de torque médio, em média 1,8%. Porém, no ensaio ETH0W100_15 se nota um ganho de até 2% a 2.000 rpm e um ganho relevante de potência. Indicando que há uma certa instabilidade da combustão nessa faixa de rotação. Maiores perdas se encontra nos ensaios ETH0W100_25 na faixa de 2.400 rpm à 2.600 rpm.

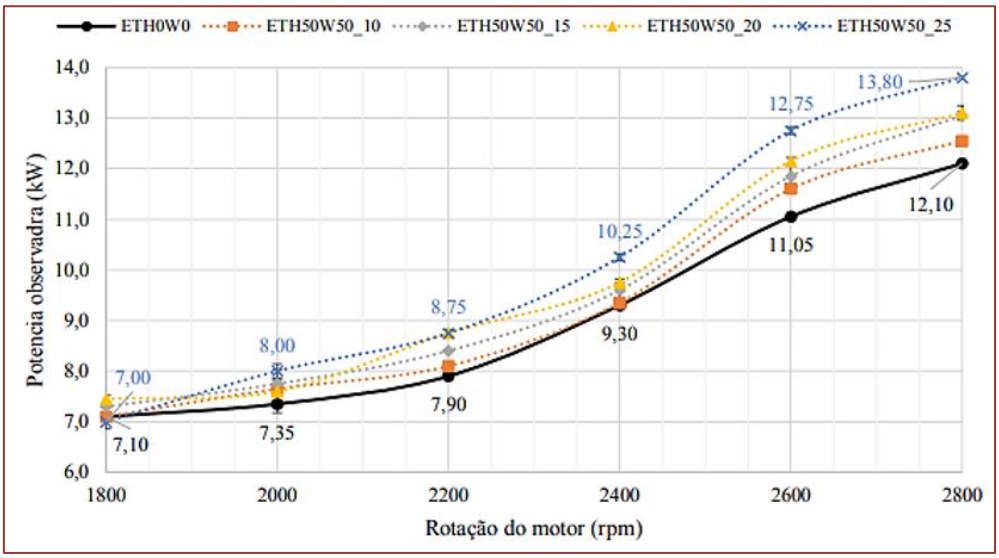
Figura 10. Torque com fumigação de água



Autor: Junior (2020)

O ESH com fumigação teve os melhores resultados, quando se trata de potência, tendo um aumento de combustível disponível para queima. No ensaio ETH50W50_25 veio o maior ganho, 9,6% em média com máxima de 15,4% a 2.600 rpm e a maior redução foi entre 1,4%. O menor ganho foi exposto no ensaio ETH50W50_15, onde se encontrou na casa de 2,6% com máxima de 5% a 2.600 rpm. Observe na Figura 10.

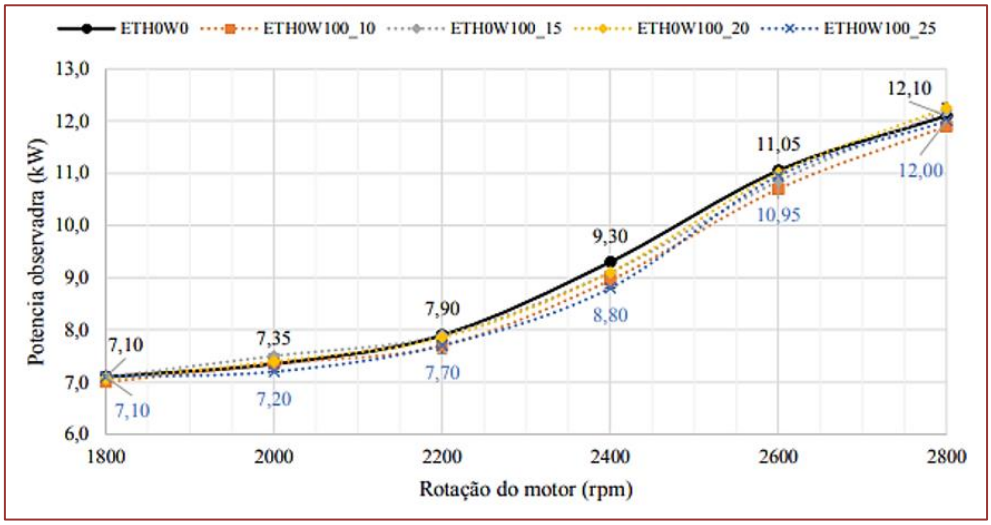
Figura 10. Potência com fumigação de ESH



Autor: Junior (2020)

Já a fumigação com água, demonstrou perda pequena na potência, por conta de uma redução de temperatura de combustão, trazendo insuficiência para o mesmo. A maior redução foi de 5,4% no ensaio ETH0W100_25 a 2.400 rpm, em quanto o ensaio ETH0100_15 a 2.000 rpm, trouxe o maior ganho de potência, 2%, como mostrado na Figura 11.

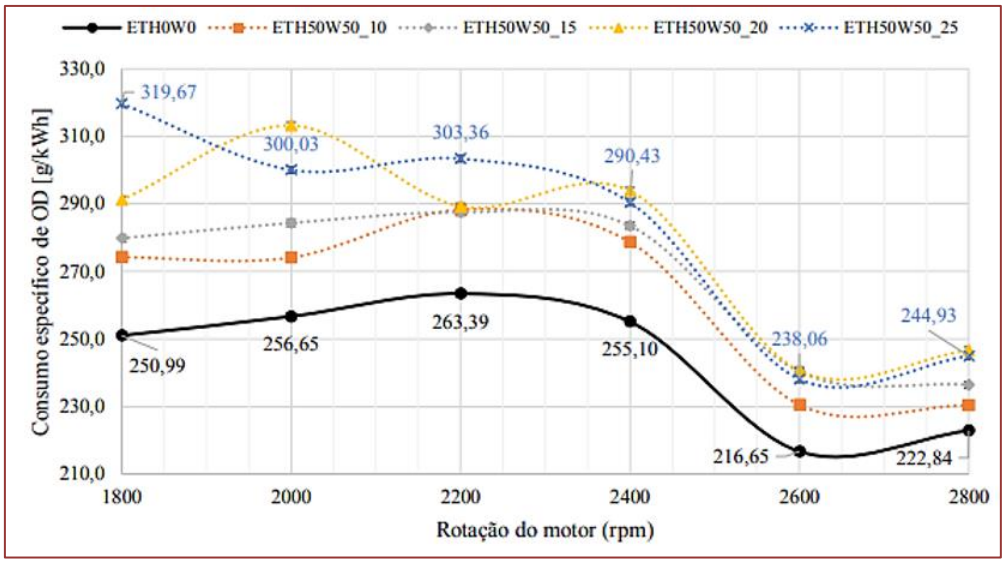
Figura 11. Potência com fumigação de água



Autor: Junior (2020)

Falando de consumo específico de combustíveis, foi observado um aumento de 7,4%, 9,9%, 14,1% e 15,5% em alguns ensaior com fumigação, sendo o maior aumento na faixa de rotação de 1.800 rpm no ensaio ETH50W50_25M, obtendo um aumento de 27,4% de máxima, tendo o consumo exato de 250,99 g/kWh. Já o menor, em específico a menor adição de ESH à combustão, onde veio um aumento máximo de 9,4% a 2.200 rpm e o menor aumento de 3,4% a 2.800 rpm, detalhado na figura 12. Resultando em um leve aumento do consumo específico na fumigação com água, com o motor operando a plena carga baseado ao ensaio testemunha. Não havendo correção no débito de OD.

Figura 12. Consumo específico com água



Autor: Junior (2020)

Como resultado final, notou-se que o torque em todos os ensaios sem a fumigação de água, obteve resultados positivos, trazendo 9% de ganho máximo e 3% no menor ganho, em rotações derivadas até 2.200 rpm. Com fumigação de água, veio resultados de reduções leves, em média 1.8% e tendo em um ensaio um ganho de 2% em máxima.

Demonstra-se que o não uso da fumigação trás maiores vantagens para o motor obter ganho de torque maior.

Já na potência, a fumigação sem água surpreendeu com bons resultados, trazendo aumento de combustível para queima, onde veio 15,4% de máxima e 1,4% na maior redução. Com a fumigação a água ouve perda não relevante por conta da queda de temperatura do combustível. Mais uma vez, demonstra-se que o não uso da fumigação de água resulta em boas vantagens para o motor na área da potência.

Já no consumo específico, a fumigação demonstrou um aumento de consumo com operação do motor sem ajustes e correções, onde veio ganho de aumentos de 7,4% a 27,4%, com exato consumo de 250,99 g/kWh.

1.6. CONCLUSÕES ACERCA DA INJEÇÃO DE ÁGUA

Esse trabalho teve função em apresentar todo funcionamento, análise de vantagens e desvantagens do sistema de injeção de água e etanol na admissão de motores de combustão interna. Como função, o sistema de injeção é, nada mais que uma água

sendo injetada na admissão do motor, para que ela resfrie o ar que entra para ser misturado ao combustível injetado, causando um aumento na densidade do mesmo e aumentando a octanagem do combustível, tornando a queima mais controlada, onde alivia uma parcela do combustível que tem parte na tarefa de resfriamento, ficando por conta da água injetada. Segundo a BOSCH, proporciona-se um aumento de potência de até 5% e economia do combustível de até 13%.

Nota-se que realiza uma mistura mais ampla/equilibrada suprimindo o fenômeno de detonação para que o combustível realiza uma boa mistura dentro do tempo. A UCE (Unidade de controle eletrônico), um módulo de injeção, passou a não ser programada com novas performances, fazendo com que o equipamento de injeção de água e etanol comande o avanço de ignição para melhor aproveitamento.

Uma das vantagens foi o avanço do ângulo de ignição, que tem o efeito de aumento da eficiência do motor otimizando o tempo das emissões de faísca, sendo possível fazer avanços mais rigorosos onde traz mais energias ao motor, com consequência de respostas melhores, porém, se coloca o motor em proximidade a detonação, sendo um risco maior para sua vida útil, também acontece um excesso de consumo de combustível, perda de potência e alta emissão de poluentes. Isso opera em um resultado, baseado em uma chacoalhada de um lado para o outro dos pistões, esmagando os anéis dele, havendo perdas de compressão.

Importante destacar que a forma mais fácil de evitar a detonação, por sua vez, é o resfriamento do ar de admissão com a injeção de água e etanol. Sendo analisados os resultados, encontrou-se praticidades para adicionar aos motores existentes no mercado o kit de injeção de água, além disso, uma proporção de 10% de mistura água-etanol na massa específica junto com injeção diretamente na câmera de combustão, sendo em motores Diesel ou ciclo Otto, sendo benéficos quando se trata de consumo específico, redução de emissões poluentes, sendo positivo o desempenho dos motores citados.

Se baseando no contexto geral, com uma breve discussão, foi reparado que a injeção de água e etanol no sistema, consegue ser eficaz, duradouro por conta de uma boa mistura, alcançando também mais potência, menos consumo de combustível e diminuição das emissões de poluentes em uma porcentagem considerável. Olhando por fora, também conhecemos um dos primeiros carros a entrar no Brasil com o sistema de injeção de água, uma BMW M4 GTS no qual se diferencia de um BMW M4, de versão normal. Usando o mesmo motor de 3.0 Twin Power Turbo de seis cilindros ele obtém um ganho de 69 cavalos, passando de 431cv na versão normal para 500cv na versão GTS, isso também define um ganho de economia até 13%, e menores emissões, sendo provado na prática o seu bom desenvolvimento.

No Brasil, ainda é um sistema novo, mesmo com seu grande tempo de existência, sendo a BOSCH uma das principais empresas na qual, após 20 anos, resolveu trazer o sistema novamente ao mercado, prometendo resultados positivos tanto para o carro, quanto para o ao todo principalmente ao meio ambiente, conforto, economia e menos desgastes.

REFERÊNCIAS

[1] ABRAHAM *et al*, 2010. The Evolution of Flex-Fuel Technology in Brazil: The Bosch Case.

[2] Ângulo de ignição. **BESTCARS, 2016.** Disponível em: <https://bestcars.uol.com.br/bc/mais/cons-tecnico/avanco-de-ignicao-por-que-menor-e-ate-negativo/>. Acesso em: 01 de outubro de 2020.

[3] OLIVEIRA, L. "**Efeitos da injeção de água na performance e característica de emissões em motores diesel de injeção direta utilizando misturas diesel biodiesel.". ** 2013. TCC (GRADUAÇÃO) – CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA, UNIVERSIDADE DE BRASILIA, 2013

[4] LANZANOVA, T. D. M. **Avaliação numérica e experimental do desempenho de um motor otto operando com etanol hidratado**. UFRGS, Rio Grande do Sul, 2013

[5] Pré-ignição. **PINOX, 2020.** Disponível em: <http://economizar-combustivel.com/index.php/fenomeno-da-detonacao>. Acesso em: 01 de outubro de 2020.

[6] Porcentagem de ganhos e consumo. **QUATRO RODAS, 2017.** Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/como-funciona-a-injecao-de-agua-para-motores-a-combustao/>. Acesso em: 01 de outubro de 2020.

CAPÍTULO

02 Comparativo para a utilização de veículos e combustão e híbridos

2.1. INTRODUÇÃO AO USO DAS TECNOLOGIAS HÍBRIDA E COMBUSTÃO CONVENCIONAL

No começo do século XX, os veículos dominantes no mercado norte-americanos eram os veículos elétricos, graças ao seu baixo nível de ruídos, ausência de vibrações e a inexistência de marchas. Em uma época onde a malha viária era predominantemente precária, com as melhores vias concentradas nos perímetros urbanos, a autonomia não era um atributo valorizado. A crescente disponibilidade a baixo custo de combustíveis derivados de petróleo, uma legislação ambiental quase inexistente, associadas a um estágio primitivo das baterias, foram fundamentais para a não adoção da eletrificação veicular, apesar de um maior conforto proporcionado ao usuário. Avanços tecnológicos, como partida elétrica, e melhorias das vias de rodagem, aumentaram a atratividade dos veículos com motor à combustão. E, desde a década de 1910, os veículos elétricos foram superados, ficando destinados somente a aplicações especiais. Porém, no início do século XXI, com as preocupações ambientais, a volatilidade do mercado de petróleo e o desenvolvimento de baterias, reabilitaram os veículos elétricos, que voltaram a figurar como alternativa ao veículo à combustão. (BNDES, 2020)

Desde o ano de 1973, o consumo de petróleo a nível mundial vem apresentando uma trajetória predominantemente crescente. O setor da economia que mais consome petróleo, em todo o mundo, é o setor de transportes. Este setor foi também o maior responsável pelo crescimento do consumo do petróleo nas últimas décadas (BARAN, 2012). “Por ser o principal consumidor de petróleo e representar uma das principais fontes geradoras de gases causadores do efeito estufa, o setor automotivo é um dos principais alvos das políticas energéticas e ambientais” (BNDES, 2020).

O setor automobilístico é considerado um dos mais importantes para a movimentação e a economia do país, seja para moldar a indústria, a cidade, a vida em comunidade e os indivíduos desde que Henry Ford conseguiu produzi-lo em larga escala e os bancos criaram linhas de crédito específicas para financiar a aquisição desse bem. A força do setor automotivo alavanca outros setores da economia. O segmento é o segundo maior mercado da indústria do aço, consumindo quase 15% da produção total desse material, perdendo apenas para o setor da construção civil. Outros importantes clientes da indústria automotiva são os setores do alumínio (5%), petroquímico (em especial plásticos, com 7%) e do vidro (ETHOS, 2016).

A indústria automotiva apresenta além da sua importância econômica, importância tecnológica. É a mais global das indústrias, sendo caracterizada como uma indústria de capital intensivo com integração vertical e economia de escala (SCHULZE; MACDUFFIE; TÄUBE, 2015). Esta indústria tem sido responsável pelo desenvolvimento de inovações tecnológicas e de gestão, sendo a originária das principais mudanças dos processos produtivos industriais (CASOTTI; GOLDENSTEIN, 2008; BARROS; CASTRO; VAZ, 2016).

No início do século XXI, a indústria automotiva, que já havia atingido um grau de maturidade e estrutura elevada, passou a ser pressionada pela globalização, regulações governamentais - relativas ao consumo de energia, emissões e segurança - e avanços tecnológicos nas áreas de eletrônica, comunicação e design (SCHULZE; MACDUFFIE; TÄUBE, 2015).

A partir do conceito de sustentabilidade, grande parte dos fabricantes de veículos e autopeças tem ações programadas consolidadas para reduzir o impacto na natureza tanto de seus produtos quanto de seus processos de fabricação. Embora iniciativas nesse sentido já existam há algumas décadas, foi a partir de 2000, e mais acentuadamente depois de 2005, que elas começaram a ser estruturadas no cotidiano das empresas (AUTODATA, 2011). O estudo do conjunto das empresas que compõem esse complexo industrial (montadoras e toda a sua respectiva cadeia de fornecedores) revelou que as ações que visam à gestão ambiental e à responsabilidade social são, em geral, tratadas de forma isolada. Não são integradas à estratégia corporativa das organizações. A maioria das empresas encontra-se, ainda, posicionada em uma fase incipiente quando comparada aos padrões de classe mundial. Por outro lado, observa-se que, na implantação de novas unidades operacionais, as montadoras já buscam definir os processos de produção alinhados às exigências da produção mais limpa e de ecoeficiência, com ações dirigidas para maior economia de materiais e de energia e enfatizando os aspectos da reciclagem (ZANETI, 2018).

Bastin (2010) explica que governos de diversas partes do mundo vêm implantando medidas para que essa importância seja ainda maior, como no Brasil, onde foi criado o programa de registro de veículos brasileiros, visando a melhoria da eficiência energética dos novos veículos leves. (ZANETI, 2018). Em alguns países europeus, com a implantação da Diretiva de veículos em fim de vida (ELV) da União Europeia, que visa aumentar a recuperação de veículos em fim de vida, com o intuito de reduzir o desperdício e melhorar o desempenho ambiental (GERRARD; KANDLIKAR, 2007).

Até 2030, países como Inglaterra, França e Alemanha, hoje as principais economias do bloco europeu, proibirão a fabricação de carros com motor a combustão, substituindo os mesmos por carros elétricos. No entanto, esses modelos ainda poderão circular até 2050. Índia, China e Noruega já mostraram interesse em seguir o mesmo caminho (NEWS, 2017).

O Brasil vem liderando grandes inovações sustentáveis, como o uso do biodiesel (plantas oleaginosas, como mamona, soja, entre outras) e do etanol produzido não só a partir da cana-de-açúcar. Em 2010 o número de veículos leves produzidos com motor flex já atingiu 86% do volume total produzido. Mas há que se considerar, também, a emergência dos veículos de motor elétrico e os híbridos, que estão demorando a entrar no mercado brasileiro, por falta de infraestrutura e modelos de negócios para essas tecnologias.

Os veículos elétrico-híbridos usam um motor elétrico e um mecanismo de combustão interno para propulsão, enquanto os veículos elétricos comuns não têm esse mecanismo. O fornecimento de energia externa de um híbrido é o combustível para o motor e, no caso do elétrico, a eletricidade que vem da rede. Para o híbrido plug-in, há as duas possibilidades. O desenvolvimento de veículos elétrico-híbridos e elétricos no Japão pode ser considerado um caso que ilustra uma potencial mudança de paradigma na tecnologia em uma indústria madura (POHL; YARIME, 2012).

Existem diversos artigos com comparativos de custo-benefício e/ou viabilidade técnica e econômica entre veículos à combustão interna e veículos elétricos. Como por exemplo, o comparativo efetuado por Santos(2017)que efetua uma análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão, no qual são utilizados veículos de categorias diferentes com elevada diferença nos custos de aquisição. No artigo citado, foi comparado um Sandero (veículo popular de custo de aquisição relativamente baixo), com um ZOE (veículo 100% elétrico produzido no mercado europeu), ambos da montadora Renault. Há também um artigo criado por Prado (2019), onde é feito um estudo de custos e benefícios entre motores híbridos e motores à combustão, onde são utilizados como referência um veículo Corolla da montadora Toyota e um Leaf da montadora Nissan. E por fim um estudo efetuado por Thiellet (2019), no qual é feita análise de viabilidade econômica de um automóvel híbrido, que utiliza como referência um Corolla e um Prius, ambos da montadora Toyota.

Com esse intuito, o presente artigo tem como objetivo efetuar uma comparação de custo-benefício e viabilidade técnica entre veículos à combustão interna e veículos híbridos, utilizando dois veículos da mesma montadora e do mesmo modelo, já disponíveis no mercado, um movido somente à combustão, e o outro movido de forma híbrida (combustão e eletricidade). O veículo utilizado como estudo será o Corolla, veículo produzido pela montadora Toyota.

2.2. REFERENCIAL TEÓRICO ACERCA DAS TECNOLOGIAS PARA PROCESSOS DE COMBUSTÃO EM MOTORES

Quase um século após os veículos que utilizam motores de combustão interna como forma de propulsão terem dominado o mercado, os veículos elétricos voltaram a aparecer no cenário automotivo mundial. “Esse movimento deverá ser responsável pela substituição parcial dos motores a combustão interna por motores elétricos como fonte de força motriz veicular em parcela significativa da frota nas próximas décadas.” (BNDES. 2017).

A um longo prazo, é possível que quase todos os veículos encontrados no mercado sejam elétrico-puro ou ao menos híbrido.

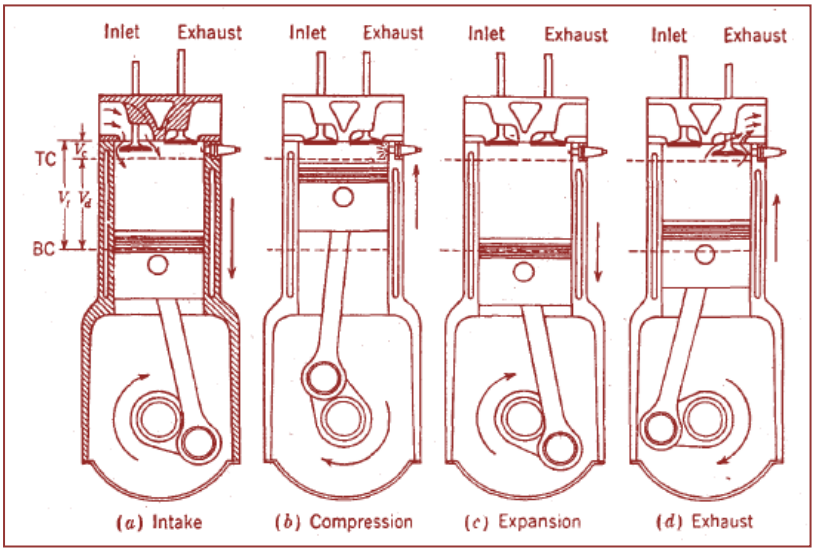
Em 1886, o engenheiro mecânico alemão Nikolaus August Otto (1832 – 1891) inventou o primeiro motor a combustão interna (MCI) do tipo quatro tempos, onde seus princípios de funcionamento são aplicados aos motores utilizados até os dias atuais. Karl Friedrich Michael Benz foi o inventor do primeiro automóvel movido por um motor de combustão interna (SANTOS, 2017).

O motor à combustão interna é uma máquina baseada nos princípios da termodinâmica, a partir da compressão e expansão de fluidos gasosos para gerar força e movimento rotativo. Esta máquina transforma energia proveniente de uma reação química em energia mecânica. O processo de conversão se dá através de ciclos termodinâmicos que envolvem admissão, compressão, expansão (combustão) e escape. É o motor utilizado na grande maioria dos veículos atuais movidos a combustível (SANTOS, 2017).

Existem tipos diferentes de ciclos termodinâmicos para os motores de combustão interna, como os principais ciclos Otto e Diesel. Cada um com suas respectivas características, porém com uma forma básica de operação semelhante, queimam um combustível para transformar energia química em energia mecânica e assim ser capaz de movimentar o automóvel. Por se basearem na queima de um combustível, ambos liberam gases poluentes na atmosfera e em sua grande maioria de modelos, utilizam fontes não renováveis de energia (SANTOS, 2017).

Os motores do ciclo Otto são motores de combustão interna com ignição por centelha, utilizando como combustíveis gasolina, gás ou álcool (etanol). O combustível mais utilizado atualmente no mundo inteiro é a gasolina. (MUNDO EDUCAÇÃO, 2017). O convencional motor a gasolina é um motor com ciclo de quatro tempos onde uma mistura ar + combustível é admitida num cilindro e comprimida pelo pistão ou êmbolo, após inflamada por uma centelha elétrica provocada pela vela de ignição (SANTOS, 2017). Esse funcionamento pode ser observado conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Ciclo Otto: etapas de funcionamento



Fonte: HEYWOOD (1988).

Neste processo, a energia química da reação de combustão (3º estágio) é transformada em energia mecânica, que fazem as rodas do carro movimentarem através da utilização do eixo virabrequim. A energia para gerar centelha e provocar a queima do combustível, vem da bateria do automóvel (SANTOS, 2017).

Os motores de ciclo Diesel são motores de combustão interna com ignição por compressão, utilizando como combustíveis o diesel e o biodiesel, entre outras misturas. No motor Diesel o ar admitido no cilindro é comprimido pelo pistão ou êmbolo, e devido a compressão pode atingir temperaturas de 500 a 700ºC. Uma vez injetado ou atomizado o combustível, a mistura se inflama espontaneamente, graças ao calor resultante da compressão do ar (TILLMAN, 2013).

Existem ainda os veículos flexfuel,que utilizam de um motor de combustão interna do tipo ciclo Otto, e podem funcionar com mais um tipo de combustível misturados no mesmo tanque. O veículo com motor flexível mais comum é o que permite a utilização de gasolina e etanol. Atualmente, esse motor é encontrado apenas em automóveis e veículos comerciais leves (SANTOS, 2017).

Para evidenciarmos a importância do setor automotivo brasileiro, os países com a maior frota de veículos do mundo, bem como o número da produção de veículos são apresentados a seguir. A indústria automotiva em 2015 teve uma participação de 22% no PIB Industrial e 4% no PIB Total.

A Tabela 1 mostra os dez países com as maiores frotas de veículos no mundo. O Brasil ocupa a 6ª posição, o que representa cerca de 3% da frota global de 1,3 bilhão de veículos estimada em 2015. Além disso, ao longo desses 10 anos (2006 a 2015), o país teve um crescimento significativo da frota de 77%, atrás apenas da China (ZANETI, 2018).

Tabela 1 - Países com a maior frota mundial de veículos

País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	% da frota mundial	Variação 2006 a 2015
Estados Unidos	244.643	248.701	249.813	248.972	248.232	248.932	251.497	252.715	258.027	264.194	20%	8%
China	36.974	43.584	50.996	62.806	78.018	93.563	109.220	126.701	145.981	162.845	13%	340%
Japão	75.859	75.715	75.528	75.325	75.361	75.513	76.126	76.619	77.188	77.404	6%	2%
Rússia	32.547	35.455	38.264	39.303	40.661	42.862	45.422	48.132	50.500	51.355	4%	58%
Alemanha	49.742	44.021	44.180	44.631	45.262	45.984	46.538	47.015	47.648	48.427	4%	-3%
Brasil	24.084	25.643	27.510	29.667	32.110	34.710	37.331	39.771	41.787	42.743	3%	77%
Itália	39.877	40.368	40.894	41.213	41.650	42.067	42.000	41.830	41.946	42.242	3%	6%
França	36.661	37.033	37.212	37.438	37.744	38.067	38.138	38.200	38.408	38.652	3%	5%
Reino Unido	34.935	35.354	35.538	35.217	35.479	35.632	35.761	36.468	37.113	38.220	3%	9%
México	24.185	25.869	28.208	29.692	30.482	31.965	33.293	34.870	35.754	37.354	3%	54%

Fonte: ANFAVEA (2018)

Apesar de possuir uma frota considerável, quando se considera o tamanho da população, o Brasil continua atrás de muitos países em termos da quantidade de habitantes por veículo. Apesar de esse número diminuir a cada ano, ou seja, mais pessoas estarem adquirindo veículos, este número ainda é quatro vezes menor quando comparado ao primeiro país da lista. Os Estados Unidos lideram o ranking com 1,2 pessoas por veículo, enquanto esse número no Brasil é de 4,8. Entretanto, já é 63% menor quando comparado ao ano de 2006, onde se tinha 7,8 pessoas por veículo, como pode ser visto na Tabela 2 (ZANETI, 2018).

Tabela 2 - Habitantes por veículo para os países com a maior frota mundial

País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Variação 2006 a 2015
Estados Unidos	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	0%
China	35,5	30,2	26	21,2	17,1	14,4	12,4	10,7	9,3	8,4	323%
Japão	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	6%
Rússia	4,4	4	3,7	3,6	3,5	3,3	3,2	3	2,8	2,8	57%
Alemanha	1,7	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	0%
Brasil	7,8	7,2	6,9	6,5	5,9	5,5	5,2	5,1	4,9	4,8	63%
Itália	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	7%
França	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	0%
Reino Unido	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	0%
México	4,6	4,3	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,5	3,4	35%

Fonte: ANFAVEA (2018)

O Brasil também ocupa uma posição destacada entre os maiores produtos de veículos do mundo. Em 2017, foram produzidos 97,3 milhões de veículos no mundo, sendo o Brasil responsável por 3% desse total, ocupando a 9ª posição no ranking. Por questões socioeconômicas, a tabela 3 também evidencia o declínio de 12% em relação à produção no ano de 2008. O cenário padrão por muitos anos era a exportação de veículos maior que a importação, porém, desde o ano de 2011 o Brasil passou a importar mais modelos do que exportar (ZANETI, 2018).

Tabela 3 - Produção mundial de veículos

País	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	% da produção mundial	Variação 2008 a 2017
China	9.299	13.791	18.265	18.419	19.272	22.117	23.732	24.567	28.119	29.015	30%	212%
Estados Unidos	8.694	5.731	7.763	8.662	10.333	11.066	11.661	12.106	12.180	11.190	12%	29%
Japão	11.576	7.934	9.629	8.399	9.943	9.630	9.775	9.278	9.205	9.694	10%	-16%
Alemanha	6.046	5.210	5.906	6.147	5.649	5.718	5.908	6.033	5.747	5.646	6%	-7%
Índia	2.332	2.642	3.557	3.927	4.175	3.898	3.845	4.161	4.519	4.783	5%	105%
Coréia	3.827	3.513	4.272	4.657	4.562	4.521	4.525	4.556	4.229	4.115	4%	8%
México	2.168	1.561	2.342	2.681	3.002	3.055	3.368	3.565	3.616	4.068	4%	88%
Espanha	2.542	2.170	2.388	2.373	1.979	2.163	2.403	2.733	2.886	2.848	3%	12%
Brasil	3.051	3.076	3.382	3.418	3.403	3.713	3.146	2.429	2.177	2.699	3%	-12%
França	2.569	2.048	2.229	2.243	1.968	1.740	1.821	1.972	2.090	2.227	2%	-13%

Fonte: ANFAVEA (2018)

A Tabela 4 mostra o número de veículos elétricos e híbridos no mundo ao longo de 2005 a 2016. Observa-se um aparecimento modesto em 2005, com aproximadamente 1370 unidades no mundo, porém, constata-se um crescimento exponencial (ilustrado na Figura 2) desse ano até hoje (ZANETI, 2018).

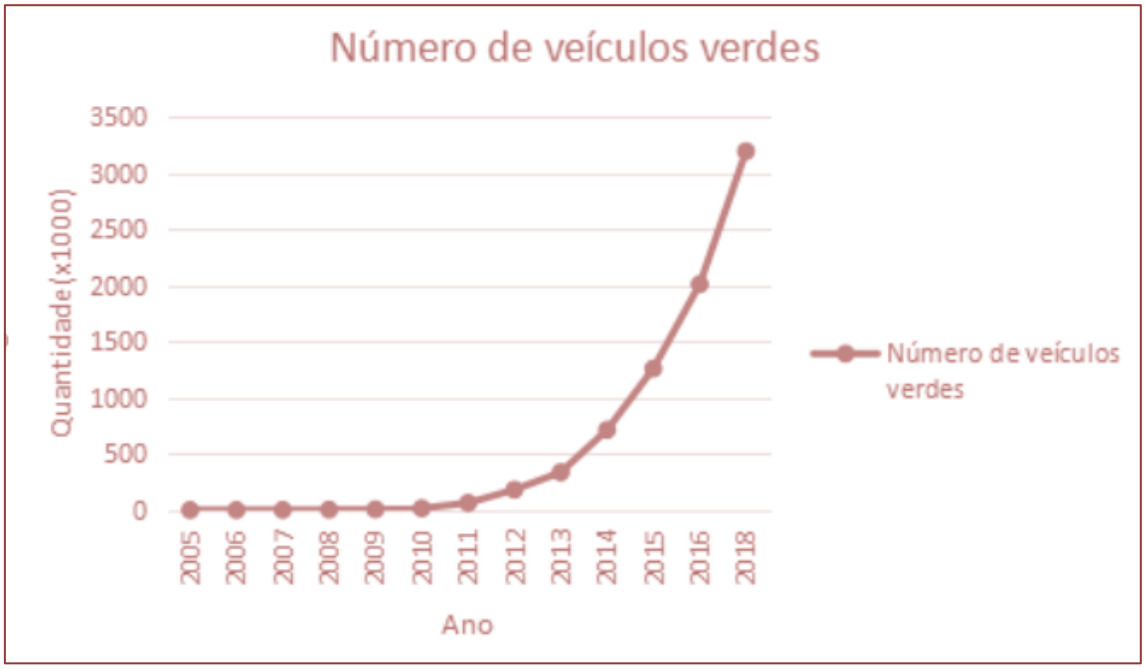
Tabela 4 - Frota mundial de veículos elétricos e híbridos

País	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Canadá							0.52	2.54	5.66	10.73	17.69	29.27
China					0.48	1.91	6.98	16.88	32.22	105.39	312.77	648.77
França	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12	0.30	3.03	9.29	18.91	31.54	54.49	84.00
Alemanha	0.02	0.02	0.02	0.09	0.10	0.25	1.89	5.26	12.19	24.93	48.12	72.73
Índia				0.37	0.53	0.88	1.33	2.76	2.95	3.35	4.35	4.80
Japão					1.08	3.52	16.14	40.58	69.46	101.74	126.40	151.25
Coréia						0.06	0.34	0.85	1.45	2.76	5.95	11.21
Holanda				0.01	0.15	0.27	1.14	6.26	28.67	43.76	87.53	112.01
Noruega			0.01	0.26	0.40	3.35	5.38	9.89	20.37	44.21	84.18	133.26
Suécia							0.18	1.11	2.66	7.32	15.91	29.33
Reino Unido	0.22	0.55	1.00	1.22	1.40	1.68	2.89	5.59	9.34	24.08	48.51	86.42
Estados Unidos	1.12	1.12	1.12	2.58	2.58	3.77	21.50	74.74	171.44	290.22	404.09	563.71
Outros					0.64	0.83	3.25	6.90	12.76	25.35	52.63	87.48
Total	1.37	1.69	2.15	4.54	7.47	16.81	64.58	182.64	388.07	715.39	1.262.612.014.22	

Fonte: ANFAVEA (2018).

Em 2018, a frota mundial dos veículos elétricos e híbridos alcançou 3,2 milhões, tendo um crescimento de 59% quando comparado ao valor analisado em 2016. Uma das principais razões para esse crescimento exponencial, é a preocupação com as emissões de poluentes e, portanto, das regulações ambientais (ZANETI, 2018).

Figura 2 - Crescimento da frota mundial de veículos elétricos e híbridos



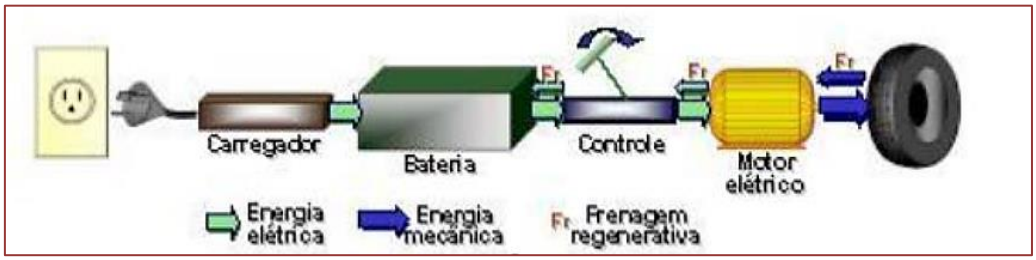
Fonte: Global EV Outlook (2017)

Para o veículo elétrico (VE), a energia necessária para o funcionamento do motor elétrico é proveniente da energia química que é armazenada nas baterias recarregáveis instaladas no próprio veículo. A recarga das baterias é feita através da rede elétrica. Além disso, carros dessa categoria podem incluir um sistema de frenagem regenerativa, o qual armazena a energia cinética proveniente do acionamento dos freios na bateria (SCIENCES, 2017).

Os VE's em sua maioria são constituídos de baterias de Íon-Lítio, a qual apresenta eficiência de cerca de 95%, porém a energia total armazenada não garante uma autonomia muito grande, cerca de 4 a 12 horas de funcionamento, com isso, é necessário que exista uma rede com pontos de recarga muito bem estruturada para atender as necessidades dos usuários e possibilitar o funcionamento dos automóveis (ZANETI, 2018).

Em termos médios, a eficiência energética dos carros elétricos a bateria é de 70%, cerca de cinco vezes a eficiência de um veículo convencional, que é de 14 a 18% (FERREIRA FILHO, 2009). A Figura 3 mostra o funcionamento de um veículo elétrico a bateria.

Figura 3 - Diagrama de funcionamento - veículo elétrico a bateria



Fonte: FERREIRA FILHO (2009)

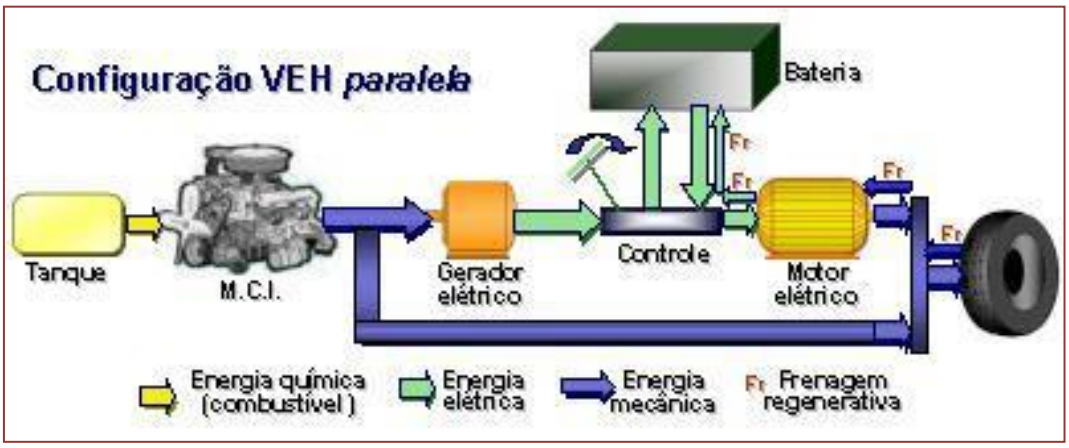
O veículo elétrico híbrido (VEH) utiliza um motor elétrico que é alimentado por um gerador e por uma bateria, ambos instalados a bordo. A denominação "híbrida" deve-se ao fato de o veículo possuir ao menos um motor elétrico e um motor de combustão interna (MCI), que pode ser alimentado por algum tipo de combustível em forma líquida, como álcool, gasolina ou diesel, e/ou por algum tipo de combustível gasoso, como o gás natural. O MCI e o gerador de eletricidade abastecem o motor elétrico e são capazes de recarregar a bateria. Esta categoria também permite o uso de frenagem regenerativa.

Existem dois tipos de carros elétricos híbridos: em série e em paralelo. Na configuração em série, as rodas são acionadas apenas pelo motor elétrico. Já na configuração em paralelo, o MCI também aciona as rodas do veículo paralelamente ao motor elétrico. A Figura 4 apresenta o diagrama de funcionamento das configurações em série, enquanto a Figura 5 apresenta o diagrama de funcionamento das configurações em paralelo (ZANETI, 2018).

Figura 4 - Diagrama de funcionamento - veículo híbrido - em série

Fonte: FERREIRA FILHO (2009)

Figura 5 - Diagrama de funcionamento - veículo híbrido - em paralelo



Fonte: FERREIRA FILHO (2009)

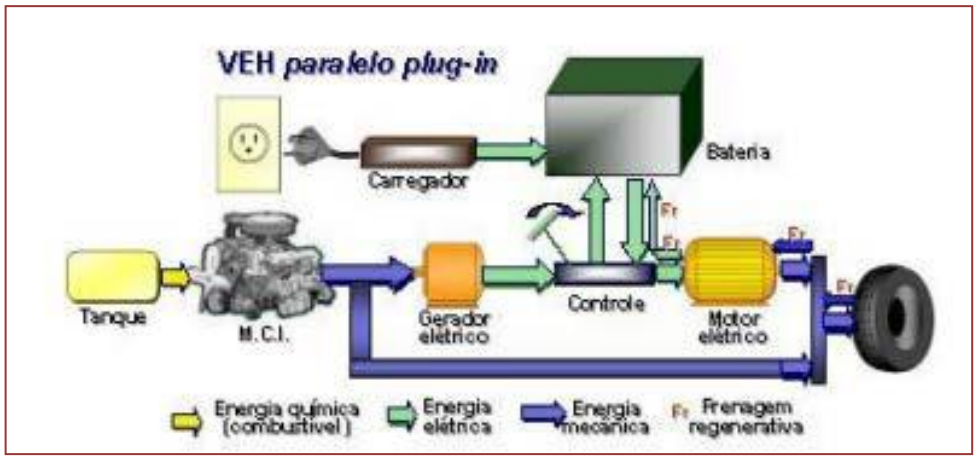
A ABVE afirma que as economias de combustível são de 10 a 50% comparando-se com o veículo equivalente com motor de combustão interna. Além disso, a mesma entidade diz que é possível reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO2) em até 50% e as emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NOx) em até 90% (ZANETI, 2018).

Carros elétricos dessa categoria se constituem da combinação de motor de combustão interna (MCI) com uma bateria de grande capacidade, que pode ser recarregada na rede elétrica (FERREIRA FILHO, 2009), vale ressaltar que este tipo de veículo se difere do veículo elétrico híbrido por apresentar, além da recarga regenerativa da bateria por frenagem, a possibilidade de ser recarregado na rede elétrica convencional, pode-se dizer de uma maneira geral que ele combina o funcionamento de um veículo elétrico híbrido convencional com o elétrico a bateria. A Figura 6 mostra o funcionamento do híbrido plug-in em série, enquanto a Figura 7 mostra a configuração do híbrido plug-in em paralelo.

Figura 6- Diagrama de funcionamento - veículo híbrido plug-in - em série

Fonte: FERREIRA FILHO (2009)

Figura 7- Diagrama de funcionamento - veículo híbrido plug-in - em paralelo



Fonte: FERREIRA FILHO (2009)

O processo de combustão que é utilizado para converter a energia dos combustíveis derivados do petróleo em movimento nos veículos atuais cria altos índices de poluição, suficientes para prejudicar o meio ambiente e nocivo para a saúde humana, particularmente em áreas com grande densidade populacional. São incluídos nesses poluentes, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio (NOx), materiais particulados, compostos orgânicos voláteis e dióxido de enxofre.

A combustão com uso de derivados do petróleo também libera gases de efeito estufa, principalmente CO2, mas também óxido nitroso, carbono negro e metano, os quais muitos acreditam que contribuem para o aquecimento global. Além disso, outro ponto crítico para os motores de combustão interna é que a grande maioria deles se utiliza de combustíveis fósseis, fonte não renovável.

Motores à combustão possuem um rendimento bastante baixo. Para motores ciclo Otto, o rendimento real está situado entre 22 a 30%, enquanto para os motores do ciclo Diesel, se situa na faixa dos 30 a 38%, de acordo com o Instituto de Física da UFRGS (2017). Esse baixo rendimento ocorre devido às perdas térmicas, além de perdas mecânicas ocasionadas pelo atrito das diversas peças móveis presentes no motor.

Atualmente, a indústria mecânica está em constante aprimoramento e melhoria da qualidade e eficiência dos motores que produz, visando mudanças importantes nos projetos e no funcionamento dos motores a combustão, principalmente em função da necessidade de controle das emissões e a otimização do consumo de combustível.

Quando comparados com os veículos elétricos, os carros MCI possuem importantes vantagens. Veículos a combustão possuem grande autonomia, que gira em torno de 650 a 800 km. E para reabastecê-los são necessários menos de 5 minutos, além de já existir uma grande infraestrutura disponível de postos de combustível distribuídos pelo país.

Relacionado aos custos, veículos convencionais (MCI) possuem um custo de aquisição consideravelmente inferior aos preços dos veículos elétricos. A taxa de depreciação dos veículos convencionais também é inferior, pois apresenta uma tecnologia já dominante no mercado. No caso do veículo elétrico, ainda existe certo receio a respeito do que pode acontecer com o mesmo após 3 ou 5 anos de uso, ao finalizar o seu prazo de garantia.

Os veículos de combustão de interna conseguem alcançar velocidades superiores às proporcionadas pelos veículos elétricos. Apesar de a velocidade máxima permitida no Brasil ser de 110 Km/h, o fato dos veículos elétricos não serem capazes de atingir velocidades tão altas quanto dos veículos convencionais, pode frustrar alguns motoristas (SANTOS, 2017).

Existem diversas vantagens na utilização dos veículos elétricos. A primeira delas é a sustentabilidade, pois esses veículos apresentam baixa emissão de poluentes no seu funcionamento (no caso do veículo híbrido), e alguns modelos ainda possuem zero emissão (veículo elétrico puro), uma vez que a conversão da energia elétrica em mecânica não produz qualquer tipo de emissão de gases.

De acordo com Jussani, Masiero e Ibusuki (2014), o rendimento na conversão em energia mecânica é da ordem de 90% da energia elétrica no veículo elétrico, comparados à conversão na ordem de 25% dos veículos de combustão interna. Com isso, é possível concluir que os veículos convencionais são menos eficientes que um veículo elétrico.

Uma outra vantagem é que os veículos elétricos são silenciosos, o que contribui para uma melhor qualidade de vida em geral. Esse fato se dá devido a ausência de várias peças móveis no motor, do ruído da combustão, e também pela ausência do sistema de escapamento, uma das principais fontes de ruído em um automóvel (PORTAL ENERGIA, 2018).

Os motores elétricos possuem uma durabilidade igual ou superior à de um motor de combustão, uma vez que temos menos desgaste, menos necessidade de lubrificação e manutenção. Assim, pode-se esperar que o motor tenha maior durabilidade. O componente que é menos durável é a bateria (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Possuem ainda, menores custos de manutenção, devido ao fato de o motor elétrico ser mais simples e apresentar menor número de peças móveis quando comparado a um motor de combustão interna.

No que se refere ao desempenho de uso do carro elétrico, ele possui um elevado torque de partida. Já o veículo convencional, que utiliza sistema de embreagem e câmbio, dissipa até 20% da energia do motor. Nos veículos elétricos, o torque máximo está disponível desde o momento do arranque, característica típica dos motores elétricos, não sendo necessário atingir um determinado nível de giros do motor, como acontece nos motores a combustão.

Como desvantagens, referindo-se especificamente ao mercado brasileiro, ainda existem empecilhos para que os veículos elétricos sejam vendidos em larga escala. Uma das principais necessidades de mercado é uma infraestrutura de pontos de recarga, pois existem poucos disponíveis. Um segundo ponto que pode ser mencionado é a falta de incentivos do governo federal e altas taxas tributárias. (SANTOS, 2017)

Além desses fatores, um dos principais problemas carro elétrico no mundo todo hoje é o custo da bateria, que pode corresponder a aproximadamente de 40 a 50% do custo total do veículo. Outra grande desvantagem é o seu peso. Embora, com os avanços tecnológicos para que as baterias proporcionem uma autonomia mais interessante, ainda possuem um peso elevado, algo em torno de 450 Kg. (PORTAL ENERGIA, 2018). E a sua autonomia pode variar entre 100 e 200 Km em média, dependendo do tipo de veículo. Por outro lado, apesar de haver muita crítica a respeito da autonomia, as baterias oferecem uma autonomia suficiente para a grande maioria dos deslocamentos realizados pelas empresas de serviços, quantos pelos veículos particulares. Sua vida útil também é reduzida, podendo ser necessária, algumas vezes, a substituição durante a vida do veículo. “Porém, o maior impeditivo atual para a popularização dos veículos elétricos ainda é seu custo de aquisição, que sem incentivos governamentais fica muito superior ao valor de outros carros!” (SANTOS, 2017).

2.3. METODOLOGIA COMPARATIVA PARA HÍBRIDOS E ELÉTRICOS

O objetivo dessa metodologia é efetuar uma análise e um comparativo de custo-benefício entre dois veículos do mesmo modelo e de uma mesma montadora, um veículo utilizando motor de combustão interna e um veículo híbrido, ambos já disponíveis no mercado. Dessa forma, sendo possível analisar vantagens tanto em aspectos financeiros, quanto em aspectos ambientais relacionados à emissão de poluentes. Dentro desta perspectiva, será possível apresentar vantagens financeiras e ambientais na utilização de um dos dois modelos.

O modelo de veículo utilizado na análise será o Corolla, ano 2020, modelo 2021. Veículo da montadora Toyota, e que apresentam valores de aquisição semelhantes, quando comparadas suas versões completas.

Foi escolhido o veículo movido à combustão interna Corolla Altis Premium da montadora Toyota para essa análise, pois é um veículo que apresenta modelo semelhante movido de forma híbrida, para uma melhor análise de dados técnicos tanto de consumo, quanto de características físicas e mecânicas.

O Corolla Altis Premium movido à combustão interna pode ser adquirido pelo valor de R$ 140.690,00 à vista, com garantia de 5 anos, contados a partir da entrega do veículo 0 km ao primeiro proprietário, sem limite de quilometragem para uso particular e limite de cinco anos ou 100 mil (cem mil) quilômetros para uso comercial, o que primeiro ocorrer, conforme informado no site oficial da montadora (toyota.com.br).

Segundo dados apresentados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem, do INMETRO, foi possível verificar que o modelo mencionado apresenta consumo de 8,0 km/L na cidade, e 9,7 km/L na estrada, quando abastecido com etanol. Quando abastecido com gasolina, apresenta consumo de 11,6 km/L na cidade e 13,9 km/L na estrada. E, foi possível obter também, informações quanto à emissão de poluentes do veículo, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Emissões no Escapamento

Poluentes	NMHC - hidrocarbonetos não metano		0,009 g/km
	CO – monóxido de carbono		0,134 g/km
	NOx – óxidos de nitrogênio		0,007 g/km
Gás efeito estufa	Etanol	CO2 fóssil	0 g/km
	Gasolina	CO2 fóssil	107 g/km

Fonte: INMETRO (2020)

Apresenta-se também, características mecânicas do modelo movido à combustão interna na Tabela 6.

Tabela 6 – Características do motor flex e capacidade do tanque de combustível

Modelo	2.0L Dual VVT-iE 16V DOHC Flex
Cilindros	4 cilindros em linha
Diâmetro e curso do êmbolo	80,5 x 97,6 mm
Volume	1,987 L
Potência máxima (gasolina)	124 kW (169 CV) @ 6.600 rpm
Potência máxima (etanol)	130 kW (177 CV) @ 6.600 rpm
Torque máximo	210 N.m @ 4.400 rpm
Volume do tanque de combustível	50 L
Volume reserva	7,5 L

Fonte: TOYOTA (2020)

Para análise de características de um modelo híbrido, foi escolhido o Toyota Corolla Altis Hybrid Premium. O mesmo pode ser adquirido pelo valor de R$ 148.390,00 à vista e, "Além do período de cinco anos de cobertura básica (descrito no Manual do Proprietário), a Toyota do Brasil oferece cobertura diferenciada, estendida por mais 36 (trinta e seis) meses, contra defeitos de fabricação e montagem para alguns componentes do sistema híbrido (Bateria Híbrida, Módulo de controle da bateria híbrida, Módulo de controle de energia, Inversor/conversor). O período total dessa cobertura é de 8 (oito) anos ou 200mil (duzentos mil) quilômetros, o que primeiro ocorrer", conforme informado no site oficial da montadora (toyota.com.br).

Conforme dados apresentados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem, do INMETRO, foi possível verificar que o modelo mencionado apresenta consumo de 10,9 km/L na cidade, e 9,9 km/L na estrada, quando abastecido com etanol. Quando abastecido com gasolina, apresenta consumo de 16,3 km/L na cidade e 14,5 km/L na estrada. E, foi possível obter também, informações quanto à emissão de poluentes do veículo, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Emissões no Escapamento

Poluentes	NMHC - hidrocarbonetos não metano		0,008 g/km
	CO – monóxido de carbono		0,057 g/km
	NOx – óxidos de nitrogênio		0,001 g/km
Gás efeito estufa	Etanol	CO2 fóssil	0 g/km
	Gasolina	CO2 fóssil	84 g/km

Fonte: INMETRO (2020)

Tabela 8 – Características dos motores do modelo híbrido e capacidade do tanque de combustível

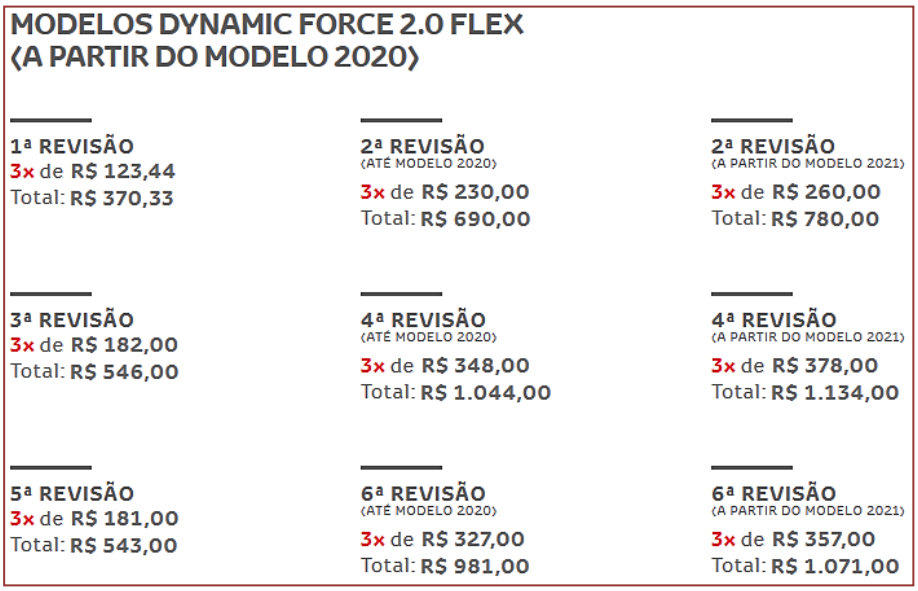
Motor Flex Híbrido	Modelo	2ZR-FXB
	Cilindros	4 cilindros em linha
	Diâmetro e curso do êmbolo	80,5 x 88,3 mm
	Volume	1,798 L
	Potência máxima (gasolina)	72 kW (98 CV) @ 5.200 rpm
	Potência máxima (etanol)	74 kW (101 CV) @ 5.200 rpm
	Torque máximo	142 N.m @ 3.600 rpm
	Potência combinada máxima (Flex + Elétrico)	90 kW (122 CV)
Motor Elétrico Frontal Híbrido	Tipo	Imã permanente
	Potência máxima	53 kW (72 CV)
	Torque máximo	163 N.m
Volume do tanque de combustível		43 L
Volume reserva		6,4 L

Fonte: TOYOTA (2020)

O governo brasileiro permitiu alguns incentivos se tratando de impostos, como exemplo o IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores) que se refere a um imposto anual que incide sobre a propriedade de veículos, que tem como fato gerador a exigência de emplacamento. Considera-se um imposto estadual, portanto somente os estados possuem competência para instituí-lo de acordo com o art.° 155, III da Constituição Federal (Art. 155). Desse modo, depende-se de decretos estaduais ou municipais, considera-se o incentivo de redução da alíquota dos veículos elétricos. Sete estados do Brasil oferecem isenção de IPVA aos veículos elétricos, sendo eles: Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Piauí, Maranhão, Sergipe e Ceará. E os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul, dão desconto de 50% no imposto para esses veículos (RISSO, 2018).

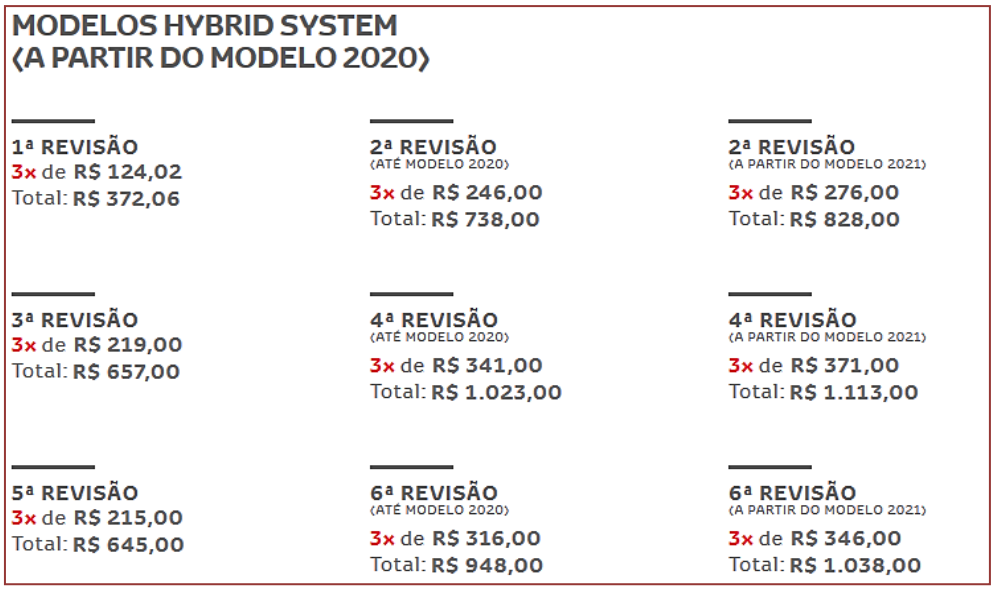
Por apresentar valores semelhantes, o custo de manutenções periódicas não será considerado nos comparativos, como pode ser observado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Valores de revisões periódicas do modelo à combustão interna



Fonte: TOYOTA (2020)

Figura 9 – Valores de revisões periódicas do modelo híbrido



Fonte: TOYOTA (2020)

Nos últimos anos tem sido observado que há um crescente interesse populacional na preservação ambiental, e os reflexos desse fenômeno são visíveis na indústria automotiva. Tal fato ocorre pelo automóvel corresponder a um grande emissor de CO_2, que por sua vez, devido ao grande transporte rodoviário provoca alterações climáticas, responsáveis por danos ambientais como: Deterioração da camada de ozônio e do conseqüente aquecimento global.

Com o intuito de reduzir os “efeitos colaterais” do enorme fluxo de veículos automotores, as indústrias automobilísticas têm investido constantemente em tecnologias capazes de gerar uma maior economia de combustível, com reduções significativas de emissões nocivas ao meio ambiente, sem que para isso seja necessário haver perda no desempenho, segurança, confiabilidade e que seja permitida a manutenção dos demais atributos inerentes aos automóveis que se encontram atualmente em circulação. Essa possibilidade pode ser viável através dos automóveis híbridos, que não sacrificam a comercialização dos combustíveis tradicionais, tais como gasolina, etanol e diesel, os mais comuns no mercado (JUNIOR, NEVES e STOPPA, 2014).

Segundo dados apresentados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO, foi possível estipular uma média de emissões de CO_2 para amostragem em 108 g/km.

E para efeitos quantitativos foi escolhido para análise o fluxo de veículos do Anel Rodoviário de Belo Horizonte, que segundo a Polícia Militar de Minas Gerais (PMMG), recebe fluxo diário de 120 mil veículos, e apresenta aproximadamente 27km de extensão. Portanto, se considerarmos deste fluxo de veículos uma porcentagem de 70% em automóveis, em valores aproximados, temos 84 mil veículos circulando 27 km diariamente. Portanto serão emitidos 244.944.000 g de CO_2, ou 244 toneladas de CO_2 na atmosfera, somente no anel rodoviário.

Quanto ao aspecto da manutenção, a Toyota tem suas recomendações para evitar danos às baterias, como por exemplo, não obstruir a entrada de ar que ajuda a resfriá-las. Para evitar essa obstrução ou eventuais problemas de aquecimento, a fabricante recomenda cumprir à risca os planos de revisões. Em caso de colisão, a Toyota informa que os gastos com reparo são equivalentes ao de um veículo convencional. A marca recomenda, nessas situações, desligar a chave geral do veículo imediatamente e aguardar o resgate, já que “disponibilizou treinamento para os Bombeiros e à PM sobre precauções referentes ao sistema híbrido” (REIS, 2017). Embora grande parte dos componentes nos veículos híbridos sejam semelhantes à um veículo a combustão, ainda existe uma carência de peças de reposição e mão de obra qualificada para reparos específicos, como reparos no sistema elétrico do motor. Mesmo os países mais relevantes no mercado de veículos híbridos e elétricos sofrem com a falta de mão de obra especializada. Um estudo do IMI (Institute of the Motor Industry), na Inglaterra, revelou que 97% dos mecânicos do país não estão qualificados para trabalhar em carros elétricos, especialmente no que se refere a lidar com sistemas de alta tensão e as exigências específicas relacionadas à segurança.

Ainda de acordo com o levantamento britânico, a grande maioria dos 3% restantes são empregados das próprias fabricantes, o que limita muito as opções de serviços para atuais proprietários e eventuais futuros compradores. "Os modelos híbridos e elétricos possuem características construtivas mais modernas, e cada modelo tem particularidades que impõem desafios de reparação. Por isso, é fundamental que mecânicas invistam em treinamentos técnicos especializados para aprimorarem o seu conhecimento e manuseio destes novos veículos", afirma Emerson Feliciano, superintendente técnico do Cesvi (Centro de Experimentação e Segurança Viária) (VILLAÇA, 2019).

No quesito autonomia, utilizando os dados já apresentados anteriormente, foi possível os valores apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparativo de autonomia entre modelo à combustão e modelo híbrido

Autonomia		Veículo à combustão	Veículo Híbrido
Etanol	Urbano	460 km	538,46 km
	Rodoviário	557,75 km	489,06 km
Gasolina	Urbano	667 km	805,22 km
	Rodoviário	799,25 km	716,3 km

Fonte: TOYOTA e INMETRO (2020).

Conforme pode ser observado na Tabela 9, o modelo híbrido apresenta superioridade de autonomia em ciclo urbano, que é a maior concentração de veículos, sendo o mais indicado para esse tipo de percurso. Para os consumidores que utilizam o veículo somente para ciclos rodoviários, ainda é vantajosa em questão financeira, a utilização de veículos à combustão interna. Portanto, como o veículo híbrido é o mais indicado para ciclos urbanos, com velocidades máximas normalmente limitadas a 60 km/h, a diferença de potência máxima do veículo (177 CV para MCI e 122 CV para híbrido), não afetará de forma significativa o consumidor. E, como vantagem, o veículo híbrido alcança a potência máxima com um torque de 5.200 rpm, enquanto o veículo à combustão somente alcançará o valor de torque máximo com 6.600 rpm. Essa diferença de torque pode ser sentida pelo motorista, que obterá uma resposta mais rápida do motor do veículo, seja em paradas obrigatórias ou em necessidade de retomada de força, como em ultrapassagens.

Segundo a KBB (Kelley Blue Book), o brasileiro roda cerca de 12.900 (doze mil e novecentos) Km por ano com seu automóvel, portanto, cerca de 1.075 (mil e setenta e cinco) Km por mês (KBB, 2019). Utilizando dessa análise de quilômetros rodados, é possível estipular um valor em combustíveis que o usuário provavelmente gastará utilizando ambos os modelos analisados, tendo como base o ciclo de rodagem predominante (ciclo urbano).

Efetuando a analise com os valores médios de R$ 4,24 para o litro de gasolina e de R$ 2,71 para o litro de etanol, foi possível confeccionar a Tabela 10.

Tabela 10 – Gasto mensal com combustíveis em veículos à combustão e veículos híbridos

Combustível	Veículo à combustão		Veículo Híbrido	
	Consumo	Total	Consumo	Total
Etanol	8,0 km/L	R$ 364,16	10,9 km/L	R$ 267,27
Gasolina	11,6 km/L	R$ 392,93	16,3 km/L	R$ 279,63

Fonte: Autores.

Conforme apresentado na tabela acima, é possível verificar que utilizando o veículo híbrido para ciclo urbano, pode ser possível economizar mensalmente em média R$ 96,89 utilizando etanol, e R$ 113,30 utilizando gasolina. Se verificarmos o preço de aquisição dos dois veículos utilizados como análise (R$ 140.690,00 para MCI e R$ 148.390,00 para o modelo híbrido), temos uma diferença de R$ 7.700,00 a mais no preço de aquisição do veículo híbrido. Diferença essa de valores, que pode ser absorvida através da economia de combustíveis em 68 (sessenta e oito) meses utilizando gasolina como combustível, ou seja, cerca de cinco anos e meio de utilização. Vale ressaltar, que a análise foi feita somente no consumo de combustíveis, porém em alguns estados do Brasil, esses veículos contam

com valor reduzido do imposto IPVA, e em alguns casos, ficam até isentos do pagamento do mesmo, sendo possível reduzir o tempo de absorção da diferença de valores de aquisição.

Como pôde ser observado, um motorista que utiliza de forma moderada o seu veículo em trânsito urbano (cerca de 1.000 km/mês), levará um tempo elevado para compensar a diferença em valores financeiros ao adquirir um veículo híbrido. Porém, se for considerado motoristas de alta rodagem como taxistas, motoristas de aplicativos e motoristas de frota, esse prazo pode ser reduzido consideravelmente, chegando a uma média de 8 (oito) meses para motoristas que rodam até 10.000 km/mês, como pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 – Compensação financeira baseada na quilometragem rodada por mês

Combustível		Km / mês	Veículo à combustão		Veículo Híbrido		Economia	Tempo (meses)
Tipo	Valor / L		Consumo	Total	Consumo	Total		
Etanol	R$ 2,71	1000	8,0 km/L	R$ 338,75	10,9 km/L	R$ 248,62	R$ 90,13	85
Gasolina	R$ 4,24		11,6 km/L	R$ 365,52	16,3 km/L	R$ 260,12	R$ 105,40	73
Etanol	R$ 2,71	5000	8,0 km/L	R$ 1693,75	10,9 km/L	R$ 1243,12	R$ 450,63	17
Gasolina	R$ 4,24		11,6 km/L	R$ 1827,59	16,3 km/L	R$ 1300,61	R$ 526,98	14,6
Etanol	R$ 2,71	10000	8,0 km/L	R$ 3387,50	10,9 km/L	R$ 2486,24	R$ 901,26	8,5
Gasolina	R$ 4,24		11,6 km/L	R$ 3655,17	16,3 km/L	R$ 2601,23	R$ 1053,94	7,3

Fonte: Autores.

Vale ressaltar, que essa análise foi efetuada considerando economia em valores de combustível consumido. Porém, existem mais vantagens quando utilizado o veículo híbrido, como por exemplo, a redução de poluentes expelidos na atmosfera, redução de ruído e vibração interna, maior conforto ao conduzir o veículo, vagas exclusivas em estacionamentos, isenção ou redução de imposto em alguns estados brasileiros, dentre outros.

2.4. CONCLUSÃO ACERCA DO COMPARATIVO ENTRE HÍBRIDOS E ELÉTRICOS

Os veículos híbridos, apesar de já estarem disponíveis há alguns anos, ainda são considerados uma novidade tecnológica no mercado automotivo nacional. Fato este, que leva vários consumidores ainda apresentarem um certo receio na aquisição deste tipo de automóvel. Um dos principais fatores era o seu custo de aquisição altamente elevado quando comparado com veículos à combustão. Porém, essa diferença de valores, vem se tornando cada vez menor devido à nacionalização da produção deste tipo de veículo. Como pode ser observado nos veículos utilizados como base neste artigo, onde a diferença de aquisição de dois veículos de mesmo modelo e fabricante é de R$ 7.700,00.

Vale ressaltar que por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, ainda existem poucos centros de manutenção especializados neste tipo de veículo, “obrigando” o consumidor a efetuar suas manutenções e revisões somente em concessionárias autorizadas, o que eleva o valor no custo de manutenção. Em contrapartida, as

montadoras oferecem um período maior na garantia do veículo, como é o caso da Toyota que oferece um período de 8 anos de garantia para os veículos híbridos, aumentando assim a confiabilidade na aquisição deste modelo.

Existem diversos benefícios para o consumidor que opta pela aquisição dos veículos híbridos. Mas, o os tornam mais atrativos, é a sua redução considerável no consumo de combustível, se tornando uma opção ideal para motoristas de longa rodagem, onde é possível absorver a diferença dos valores de aquisição em cerca de 7 (sete) meses de utilização. No caso de um motorista que utiliza o veículo para baixa rodagem, não se torna muito atrativo a diferença nos valores em economia de combustível. Em ambos casos, se for utilizada uma conscientização em questão de emissões de poluentes, o veículo híbrido se torna uma excelente escolha para qualquer consumidor.

REFERÊNCIAS

[1] ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira**. 2018.

[2] AUTODATA. **Terreno Fértil- Setor automotivo intensifica programas e práticas em busca de sustentabilidade**. 262. 2011.

[3] BARAN; Renato, Tese de Doutorado–**A INTRODUÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO CONSUMO DE GASOLINA E ELETRICIDADE,** 2012.<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/10634/1/Doutorado_Renato%20Baran_P_PO_BD.pdf> Acesso em set. 2020.

[4] BARROS, D. C.; CASTRO, B. H. R. D.; VAZ, L. F. H. **Automotivo. Panoramas setoriais: mudanças climáticas.** Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016.

[5] BASTIN, C.; SZKLO, A.; ROSA, L. P. **Diffusion of new automotive technologies for improving energy efficiency in Brazil's light vehicle fleet.** Energy Policy, v. 38, n. 7, p. 3586-3597, 2010. ISSN 0301-4215.

[6] BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades.** Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%2032%20Ve%c3%adculos%20el%c3%a9tricos%20aspectos%20b%c3%a1sicos%2c%20perspectivas_P.pdf> Acesso em set. 2020.

[7] CASOTTI, B. P.; GOLDENSTEIN, M. **Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 28, p. 147-187, 2008.

[8] ETHOS, I. **Principais Modelos de Relatórios Socioambientais**. 2016. Disponível em: < http://www.ethos.org.br >. Acesso em set. 2020.

[9] FERREIRA FILHO, M. L. **ANÁLISE DE VIABILIDADE MERCADOLÓGICA DE AUTOMÓVEIS ELÉTRICOS HÍBRIDOS PLUG-IN NO BRASI**. 2009. 115 Monografia (Trabalho de conclusão de Curso) Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

[10] GERRARD, J.; KANDLIKAR, M. **Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on 'green' innovation and vehicle recovery.** Journal of Cleaner Production, v. 15, n. 1, p. 17-27, 2007. ISSN 0959-6526.

[11] HEYWOOD, J.B.. **Internal Combustion Engine Fundamentals**, 1988 – p. 10

[12] INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – **Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE**– Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2020.pdf>. Acesso em out. 2020.

[13] JÚNIOR, E. B., NEVES, G. D. S., STOPPA, M. H.,**VEÍCULOS HIBRIDOS COMO OPORTUNIDADE DE EFICIÊNCIA LOGÍSTICA,** 2014. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/seminario/veiculos%20hibridos.pdf>. Acesso em ou. 2020.

[14] JUSSANI, A.C.; MASIERO, G.; IBUSIKI, U.. **Carros elétricos vs híbrido: Qual a alternativa ambiental sustentável para o Brasil? XVII SEMEAD: Seminários em Administração**, 2014. Disponível em: <http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trabalhosPDF/221.pdf>. Acesso em set. 2020.

[15] KBB (Kelley Blue Book) - **Você sabe quanto a quilometragem impacta o preço do carro usado?**, 2019. Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quilometragem-precos-carro-usado/?id=1802>. Acesso em nov. 2020.

[16] MUNDO EDUCAÇÃO. **Funcionamento do Motor de Combustão Interna**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>. Acesso em set. 2020.

[17] NEWS, L. **Alemanha, França e Inglaterra proibirão a fabricação de carros com motor a combustão**. 2017. Disponível em: <https://www.livenews.com.br/artigo/alemanha-franca-e-inglaterra-proibirao-a-fabricacao-de-carros-com-motor-a-combustao >. Acesso em set. 2020.

[18] PMMG, **Conheça o Anel Rodoviário de Belo Horizonte**, 2020. Disponível em: <https://www.policiamilitar.mg.gov.br/portal-pm/cprv/conteudo.action?conteudo=7824&tipoConteudo=subP>. Acesso em out. 2020.

[19] PRADO; I.B.P., **MOTORES HÍBRIDOS: um estudo de custos e benefícios.** 2019. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1228/1/Pedro%20Ivo%20Batista%20Prado.pdf>. Acesso em set. 2020.

[20] POHL, H.; YARIME, M. **Integrating innovation system and management concepts: The development of electric and hybrid electric vehicles in Japan.** Technological Forecasting and Social Change, v. 79, n. 8, p. 1431-1446, 2012. ISSN 0040-1625.

[21] PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens do Carro Elétrico vs Gasolina,**2018. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina/>. Acesso em set. 2020.

[22] REIS, ALESSANDRO - **Você sabe como funciona a manutenção de carros híbridos e elétricos?,**2017 – Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2017/07/11/voce-sabe-como-funciona-o-pos-venda-de-carros-hibridos-e-eletricos.htm>. Acesso em out. 2020.

[23] RISSO, M. L.,**O desenvolvimento da indústria de veículos elétricos no Brasil: o papel das políticas públicas,** 2018.Dissertação. Departamento de Administração. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo, São Paulo.

[24] SANTOS; A.C.F.R., TCC –**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO VERSUS VEÍCULO A COMBUSTÃO**, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12590/TCCE_EEAPP_EaD_2017_SANTOS_ANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em set.2020.

[25] SCHULZE, A.; MACDUFFIE, J. P.; TÄUBE, F. A. **Introduction: knowledge generation and innovation diffusion in the global automotive industry—change and stability during turbulent times**. Industrial and corporate change, p. dtv015, 2015. ISSN 0960-6491.

[26] SCIENCES, U. O. C. **How Do Battery Electric Cars Work?** , 2017. Disponível em: <http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-battery-electric-cars-work#.WOUkDIjyvIU>.Acesso em set. 2020.

[27] THIELLET; L.E.V., **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM AUTOMÓVEL HÍBRIDO**, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19283/LUI%20EDUARDO%20VIEIRA%20THIELLET.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em set. 2020.

[28] TILLMANN, C.A. DA C..**Motores de combustão interna e seus sistemas**. / Carlos Antônio da Costa Tillmann. – Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013. 165p.

[29] TOYOTA, ***WebSite* oficial** – Disponível em: <www.toyota.com.br> Acesso em out. 2020.

[30] VILLAÇA, THAIS - **Carros elétricos e híbridos exigem mão de obra especializada na manutenção**, 2019. Disponível em:

<https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2019/03/21/carro-eletrico-e-hibrido-exige-mao-de-obra-especializada-para-manutencao.htm>. Acesso em out. 2020.

[31] VOLAN, T; VAZ. C. R.; URIONA-MALDONADO, M., **Panorama do estado atual da difusão de veículos elétricos no Brasil**, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Tainara_Volan/publication/335492321_PANORAMA_DO_ESTADO_ATUAL_DA_DIFUSAO_DE_VEICULOS_ELETRICOS_NO_BRASIL/links/5d7458e6a6fdcc9961b77cc5/PANORAMA-DO-ESTADO-ATUAL-DA-DIFUSAO-DE-VEICULOS-ELETRICOS-NO-BRASIL.pdf>. Acesso em out.2020.

[32] ZANETI; L.A.L., TCC - **DIAGNÓSTICO DOS PRODUTOS E SERVIÇOS COMPLEMENTARES PARA A ADOÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS NO BRASIL,** 2018. Disponível em: <http://sinergia.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/09/TCC_Leticia2018.pdf> Acesso em set. 2020.

CAPÍTULO

03 Redução da utilização de fluidos de corte oleosos para processos fabris

3.1. INTRODUÇÃO AO USO DE FLUIDOS DE CORTE OLEOSOS

Diante do grande desenvolvimento industrial no decorrer dos anos, mudanças consideráveis no meio ambiente foram originadas. Estas acarretaram consequências para a qualidade de vida da humanidade. Atualmente, existe uma grande mobilização por parte de organizações ambientalistas não governamentais, Países subdesenvolvidos e também pela sociedade em busca de conscientização das organizações econômicas, para que busquem alternativas satisfatórias para atender seus objetivos econômicos e também satisfazer o desenvolvimento sustentável.

Na indústria metalúrgica, existem metodologias que se baseiam no reaproveitamento dos fluidos, reduzindo significativamente os gastos com este produto, além de manter-se dentro das normas ambientais estabelecidas (TOCCHETTO, 2005).

O órgão responsável por estabelecer as normas ambientais no que abrange o tratamento de efluentes é o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), este por intermédio da Resolução n º 357, de 17 de março de 2005 estabelece metodologias de controle e lançamento no meio ambiente de poluentes, estabelecendo condições necessárias e padrões a serem seguidos (CONAMA,2005).Todos fluidos de corte devem passar por algum tipo de tratamento antes de serem descartados em rios, córregos ou sistema de esgoto municipal. Os produtos químicos considerados poluentes em produtos solúveis em água são óleo, nitritos, fenóis, fosfatos e metais pesados (AGUIAR,2002).

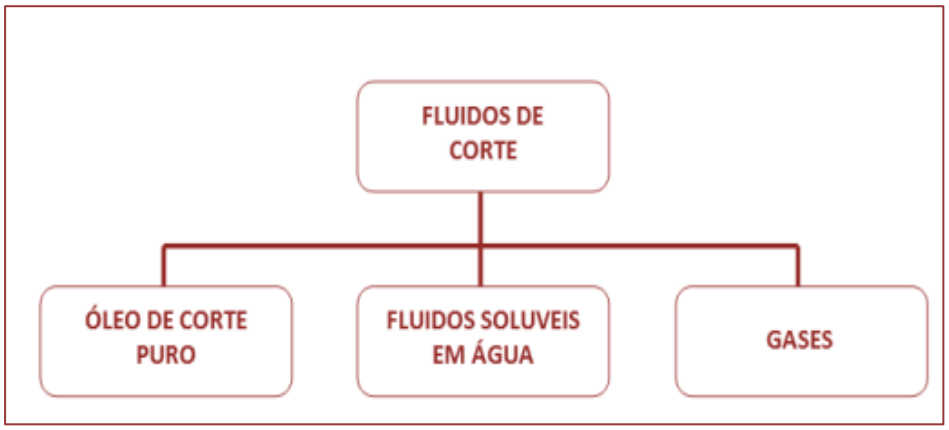
Os fluidos de corte são largamente empregados na indústria metalúrgica, sendo compostos por diferentes agentes químicos que variam de acordo com o processo e o tipo de metal a ser trabalhado. Eles podem ser empregados em processos de usinagem como torneamento, corte e retífica, por exemplo. Entre as funções dos fluidos de corte na usinagem é possível destacar a remoção dos cavacos da zona de corte e a capacidade de refrigeração e lubrificação, que evitam o aquecimento excessivo e melhoram o acabamento superficial da peça a ser trabalhada (BARBOZA,2008).

Além do fluído, há também junto deste os resíduos em forma de limalha, que variam em tamanho desde a sua moagem, gerando partículas no formato de espiras relativamente grandes de metal até grãos finos imperceptíveis a olho nu. Os caixotes que armazenam as limalhas podem conter restos de metais, detritos estranhos que sujam o fluido de corte. O setor metalúrgico é uma área essencial no setor econômico do Brasil, entre os resíduos industriais gerados por este setor, especificamente o cavaco contaminado com fluido de corte é classificado de acordo com a norma ABNT NBR – 10004 como classe I, resíduos perigosos (TOCCHETTO, 2005).

Os fluidos de corte podem ser classificados como integrais, que se apresentam como óleos de base mineral e vegetal. Os emulsionáveis (miscíveis em água), com base mineral ou vegetal e ainda, as soluções que provem dos emulsionáveis e que possuem base sintética. Os de base semissintética são classificados como emulsionáveis e soluções (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

El Baradie (1996b) cita que os fluidos de corte necessitam de tratamento. O mesmo sugere uma alternativa, a qual seria sua recuperação ou mesmo reformulação com componentes menos agressivos ao meio ambiente, sendo que suas propriedades primárias devem ser minimamente mantidas com características semelhantes, para que a eficiência do processo seja a mesma, no entanto agregando novos benefícios de uma produção mais limpa, o autor classifica os fluidos de corte em três grandes grupos conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1: Classificação dos fluidos de corte



Fonte: EL BARADIE (1996)

Os óleos de corte puros são aplicados na sua grande maioria em operações que necessitam de maior lubrificação no processo, seu aspecto proporciona menores forças de corte nos processos fazendo com que o coeficiente de atrito seja amenizado o que por consequência aumenta a vida útil da ferramenta e propicia maior acabamento superficial do material.

Segundo Runge e Duarte (1990) o óleo integral é utilizado como fornecido pelo fabricante, não requerendo alterações em sua composição.

Os fluidos de corte solúveis em água possuem maior aplicação em processos que necessitam de uma maior ação refrigerante e uma lubrificação contida e controlada. Tais fluidos são misturados com água em proporções distintas proporcionando misturas de emulsões e soluções. No entanto, a relação entre quantidade de água e óleo é dependente do tipo de operação de usinagem a ser executada (EL BARADIE, 1996a). Os fluidos têm como base de recuperação o processo de purificação, no qual ocorre a separação da parte sólida presente nos mesmos. Segundo Tessaro (2008), a purificação pode ser realizada de duas maneiras: decantação e filtração, ou ainda com outros métodos complementares: centrifugação e separação magnética Gonçalves (2008).

Posteriormente é necessário que o fluido reaproveitado obtenha o mesmo desempenho, ou semelhante ao fluido comercial visto que características mecânicas, e químicas podem alterar diretamente no processo, e até mesmo no produto final.

Para garantir tais características Lima *et al*. (2013), realizaram um experimento o qual este consistia no reaproveitamento do fluido, para comprovar sua eficiência foram realizados diversos testes com fluido de corte comercial e o fluido de corte recuperado, para execução dos ensaios foi utilizado uma emulsão em água com 6% de óleo mineral MECAFLUID S 1100 que possui as seguintes informações do fabricante: 70 a 80% em peso de óleo naftênico, 1 a 5% em peso de bactericidas e 10 a 25% de aditivos, tendo a rugosidade foi definida pela norma JIS 2001 e pelos parâmetros funcionais conforme a norma DIN4776.

No trabalho de Lima *et al*. (2013), a recuperação do fluido de corte baseou-se no preparo de uma nova emulsão visando o acompanhamento de seus parâmetros físico-químicos foram utilizados alcalinizastes e bactericidas, atingindo assim um valor do pH considerando as especificações do fabricante. Posteriormente, foram realizados os ensaios utilizando ambos os fluidos, foram obtidos valores do fluido recuperado próximos ao do fluido comercial, trazendo assim resultados bem satisfatórios, demonstrando que as características primárias do fluido de corte foram mantidas, obtendo características similares com a do fluido comercial, e o mesmo aproveitamento no processo de aplicação.

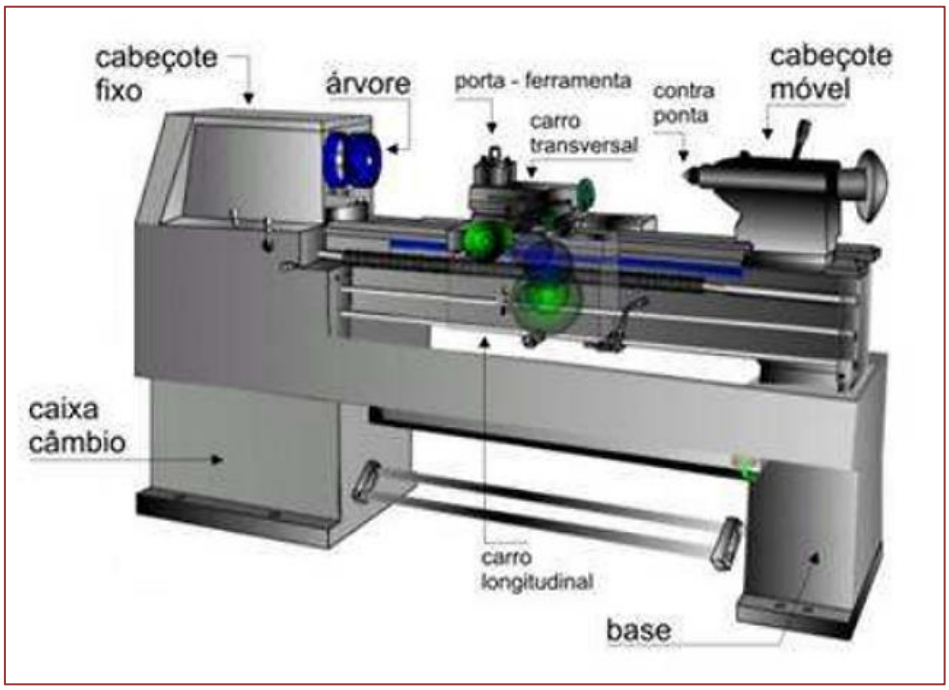
Adotando uma das metodologias citadas acima, e baseando-se no referencial teórico abordado o presente trabalho visa estimar a quantidade de fluido de corte utilizado que apresenta um potencial de reaproveitamento, seguido da proposta de métodos eficazes para separar o fluido dos cavacos e resíduos, estimar a economia na empresa com o reaproveitamento, avaliar as amostras através da determinação da concentração de sólidos presentes e sedimentação, gerando contenção de gastos para as empresas e buscando o desenvolvimento sustentável.

3.2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA ACERCA DOS FLUIDOS DE CORTE OLEOSOS

Torneamento: Os processos de fabricação que englobam peças cilíndrica mediante a utilização de um torno é definido como torneamento, o processo de torneamento ocorre quando deseja-se obter as superfícies de revolução, que é uma superfície gerada pela curva em tono de um eixo (Costa *et al*. 2006).

Segundo Kaminski (2015) e conforme retrata a Figura 2, o torno é uma máquina-ferramenta que permite a usinagem da peça, através da rotação da mesma em um cabeçote ou fixadas entre os contrapontos de centrarem enquanto uma ou diversas ferramentas de corte são pressionadas em um movimento regulável de avanço de encontro à superfície da peça, removendo material (chamado cavaco). É possível evidenciar duas operações principais: de desbaste e de acabamento.

Figura 2: Principais componentes de um torno mecânico.

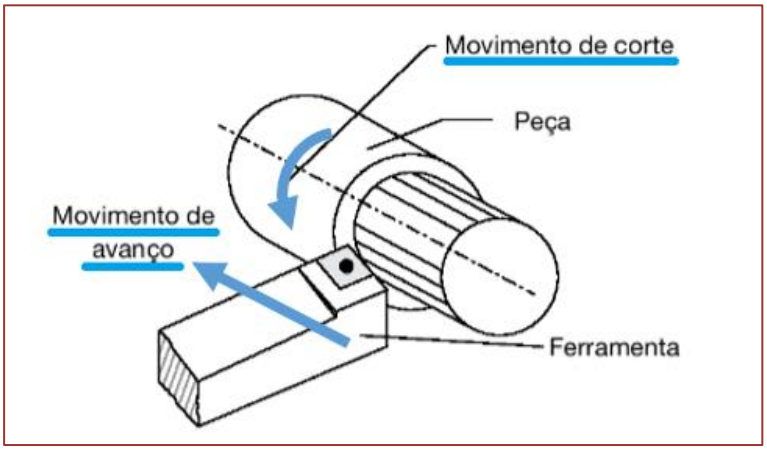


Fonte: Kegler (2018)

O primeiro caso possui como característica uma remoção de material mais acentuadas de forma a aproximar a peça a geometria final. Já a operação de acabamento é responsável por adequar a forma com as características geométricas, dimensionais (tolerâncias) e de acabamento com o projeto (Fracaro, J., 2017).

Conforme retrata a Figura 3, o movimento de corte pode ser expresso como velocidade de corte (velocidade entre a peça e a ferramenta) em metro por minutos ou como velocidade de rotação (giros por minutos).

Figura 3: Fabricação pelo processo de usinagem e meios de controle



Fonte: Fracaro, J. (2017)

O avanço pode ser expresso como avanço por giro (milímetros/giro) ou como velocidade de avanço (milímetros/minutos) demonstrado na Figura 4, calculado através da aplicação da Eq.[1].

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ ou } n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \qquad \text{Eq.[1]}$$

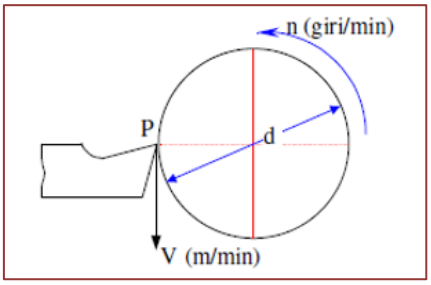
Onde:

n = RPM (número de rotações por minuto)

V= velocidade de corte (mm/min)

d= Diametro usinado (mm)

Figura 4: Condições de trabalho no torneamento



Fonte: Istituto Professionale per l'Industria e l'Artigianato (2020)

Conforme demonstra a Figura 5, a velocidade de avanço e de corte são parametrizadas de acordo com a tipologia da usinagem (interna/externa, desbaste/acabamento) e em função do material usinado (em geral matérias mais duras necessitam velocidades menores) conforme a Tabela 1, sendo calculado pela Eq.[2].

$$V_a = a \cdot n \left(\frac{mm}{min}\right) \qquad \text{Eq.[2]}$$

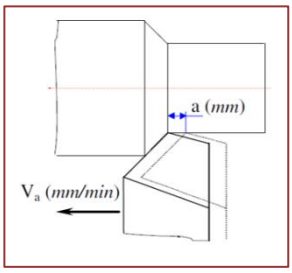
Onde:

Va = velocidade de avanço (mm/min)

a = avanço em mm/rotação (mm/ volta)

n = RPM (número de rotações por minuto)

Figura 5: Condições de trabalho no torneamento



Fonte: Istituto Professionale per l'Industria e l'Artigianato (2020)

Tabela 1: Condições de trabalho no torneamento

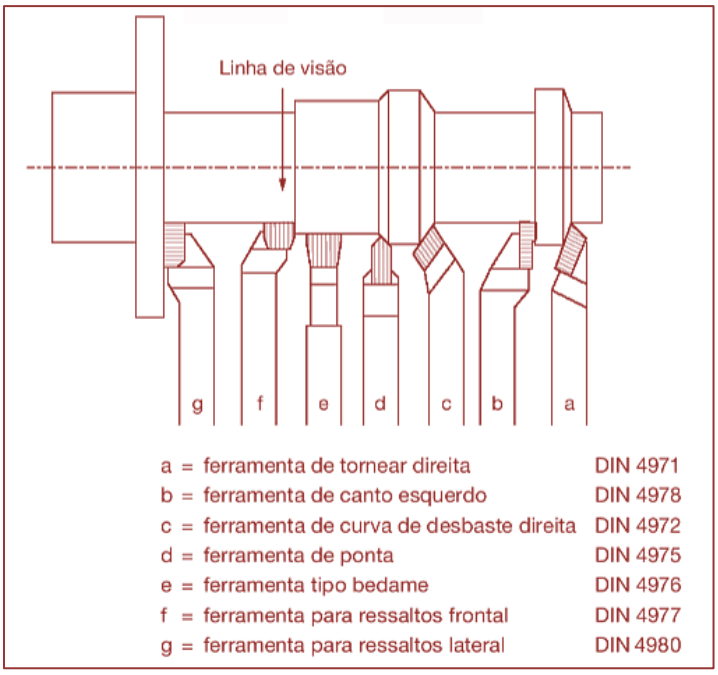
Velocidade de corte V (m/min)								
Tipo de usinagem	Externa Desbaste			Externa Acabamento			Interna Desbaste/Acabamento	
Material ferramenta								
	Aço rápido	Aço super. Rápido	Metal duro	Aço rápido	Aço super. Rápido	Metal duro	Aço rápido	Metal duro
Material a ser usinado								
Aço doce	60	90	100	80	120	150	40 / 70	70 / 100
Aço duro	35	50	95	45	70	120	25 / 40	50 / 95
Aço extra duro	30	40	65	40	50	80	20 / 30	40 / 65
Aço revenido	20	25	60	30	35	70	15 / 18	35 / 60
Gusa doce	40	60	90	50	70	100	30 / 40	65 / 90
Gusa dura	20	40	60	30	55	70	15 / 20	40 / 60
Cobre, bronze	45	65	165	60	90	260	35 / 45	80 / 160
Latão	100	200	220	200	300	350	75 / 100	100 / 220
Alumínio	200	300	400	300	500	600	150 / 200	300 / 400

Velocidade de avanço (mm/giro)						
	Aço		Gusa		Liga não ferrosa	
Tipo de usinagem	Desbaste	Acabamento	Desbaste	Acabamento	Desbaste	Acabamento
Externa	0,1 - 0,4	0,05 - 0,2	0,1 - 0,6	0,05 - 0,2	0,1 - 0,8	0,05 - 0,25
Interna	0,05 - 0,3	0,05 - 0,2	0,05 - 0,5	0,05 - 0,2	0,05 - 0,5	0,05 - 0,2

Fonte: Instituto Professional per l'Indústria e l'Artigianato (2020)

É possível dividir o processo de torneamento em duas categorias principais: longitudinal e transversal. No caso especifico, para a produção das amostras, foi utilizada a usinagem longitudinal externa cujo avanço é paralelo ao eixo de rotação e prevê a usinagem da superfície externa da amostra. Conforme demonstra a Figura 6, existem diversas ferramentas para o torneamento longitudinal externo.

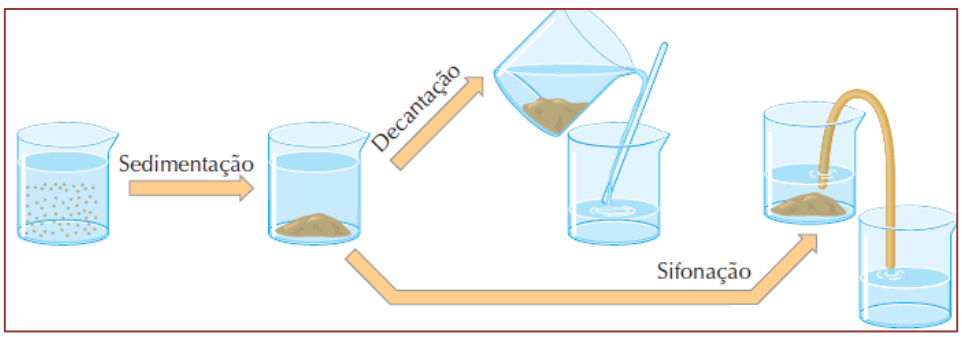
Figura 6: Fabricação pelo processo de usinagem e meios de controle



Fonte: Fracaro, J. (2017)

Sedimentação: Conforme demonstrado na Figura 7 o processo é composto por um tanque de decantação o fluido é despejado, e após um determinado tempo, as impurezas sólidas se depositam no fundo e óleos indesejáveis flutuam na superfície. O tanque pode ser equipado com esteira de raspadores que arrasta as partículas depositadas, ou com escumadores que removem as impurezas da superfície. No momento do despejo do fluido sobre o tanque, é desaconselhável o uso de fluidos que tendem a formar espuma. Portanto, cuidados especiais devem ser tomados no uso do método para fluidos semissintéticos e emulsões, vale ressaltar que função preliminar dos tanques de sedimentação é a remoção de partículas, porém também podem ser utilizados para remover óleos indesejáveis (RUNGE E DUARTE, 1990, *apud* GONÇALVES, 2008).

Figura 7: Separação de mistura decantação e sifonação

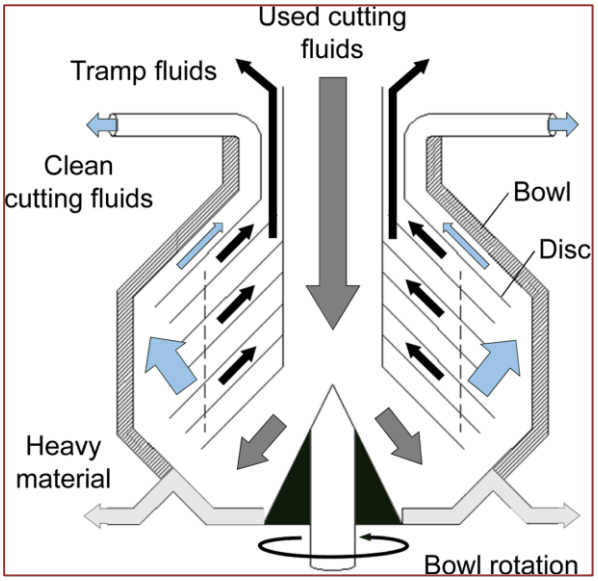


Fonte: PIPBD e o Ensino de Química (2016)

Filtração: A filtragem do fluido é realizada através a passagem do mesmo através de um elemento filtrante onde são depositados os contaminantes vindo do processo de usinagem. Um bom elemento filtrante deve possuir uma elevada capacidade de reter as partículas em suspensão, oferecer pouca resistência a passagem do fluido, possuir uma alta resistência mecânica e não deixar passar partículas indesejadas. Os formatos dos elementos de filtragem podem variar em função das características de projeto, utilização e do próprio material que compõe o elemento de filtragem. Normalmente, tais elementos, são construídos em fibra de vidro, papel tratado com poliéster ou redes metálicas (MAZZINI,2019).

Centrifugação: Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), o processo de centrifugação consiste na separação de sólidos contidos em líquidos através de uma máquina centrífuga que realiza movimento circular em elevada velocidade, uma das maiores vantagens em se utilizar as centrífugas no processo de separação de cavacos e fluido de corte é o fato de ocuparem espaços menores conforme demonstra a Figura 8. A alta velocidade gera uma força que empurra os contaminantes para fora do coletor. 16 - 17 Cambiella *et al*. 18 estudaram os efeitos de vários parâmetros, como velocidade angular, diâmetro crítico e tempo em centrifugação. Foi obtida uma remoção de óleo com taxa de eficiência de 92% a 96% para todas as experiências de centrifugação.

Figura 8: Sistema de separação centrífuga



Fonte: Cambiella *et al*. (2006)

O último processo com os 50% restantes foram submetidos a tratamentos físicos mas ouve o adendo do aditivo de extrema pressão (E.P.) com concentração de 6 a 10%, de acordo com Lima (2013) o E.P. quando adicionado aos fluidos proporcionam melhores qualidades lubrificantes, pois suportam altas temperaturas e elevadas pressões de corte, reduzindo assim o atrito entre a peça e a ferramenta.

A avaliação da adição de aditivos na formulação do fluido do corte visa uma melhora significativa no processo recuperar a sua viscosidade, e para controlar o seu pH e evitar o desgaste dos metais por corrosão.

O valor do pH demonstra o nível de ataques de bactérias e a queda das propriedades anticorrosivas presentes no fluido, pois as bactérias produzem um ácido proveniente do seu metabolismo que prejudica o fluido. O valor adequado, a fim de impedir a proliferação da bactéria, deve ficar entre 9 e 10,5 (MARCELINO, 2013).

O fluxograma da Figura 9 demonstra como foi feito processo experimental, levando metade do fluido para o tratamento físico e a outra metade para o mesmo tratamento com a adição do aditivo E.P. (Extrema Pressão).

3.3. METODOLOGIA ACERCA DA REDUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE OLEOSOS

O método utilizado como base de pesquisa foi sobre o artigo escrito por Menezes (2016), que consiste nas análises do fluidos de corte após a sua utilização, foi utilizado um torno convencional Nardini Nodus 220 para a usinagem de um tarugo de aço SAE 1020, o fluido foi 1 litro do óleo UNIMAX SAE 10W que possui propriedades físicas e químicas ideais para serviços pesados em motores de alta velocidade a diesel demonstrados na Tabela 2, a sua coleta foi feita por um recipiente graduado acoplado ao torno mecânico, com a descrição dos produtos e equipamentos anteriormente, assim sendo as próximas etapas descrevem a forma com que o autor do artigo estudado fez para alcançar sucesso no reaproveitamento do fluido de corte.

Tabela 2: Propriedades físicas e químicas do Óleo UNIMAX SAE 10W

UNIMAX SAE 10W	
Viscosidade cSt a 40°C	43.9
Viscosidade cSt a 100°C	6.1
Índice de viscosidade	100
Densidade a 20°C	0.879
Ponto de fulgor (COC)°C	210
Ponto de fluidez °	-9
Corrosão lâmina de cobre	1b

Fonte: Menezes (2016)

Nesta etapa do processo utilizou-se a filtração para separar o fluido das impurezas demonstrado na Figura 9 com a utilização de um sistema simples, composto por garrafa pet como um funil, algodão como filtro de partículas, e pedra para retenção de partículas com granulometrias maiores. A amostra coletada passou pelo processo de decantação durante 3 dias, em seguida foi para a filtração que teve um tempo de 12 horas para completa filtração devido sua alta viscosidade.

Figura 9: Processo de Filtração

Fonte: Menezes (2016)

Após o processo de filtragem as amostras foram analisadas quimicamente e seus resultados comparados com o fluido novo.

Na análise de pH utilizando um pHmetro de bancada foi obtido um valor próximo ao do fluido novo tendo essa pequena variação devido ao ataque de microbactérias quando o fluido estava em repouso.

Em seguida foi analisado a densidade utilizando a técnica de picnometria sabendo-se o volume e sua massa é calculado obtendo seu valor,

Logo após realizou-se a análise de rugosidade média, para essa análise foi utilizado o rugosímetro SJ-201 Mitutoyo, obtendo parâmetros superficiais de rugosidade seguindo as normas JIS, VDA, ISO-997, e ANSI.

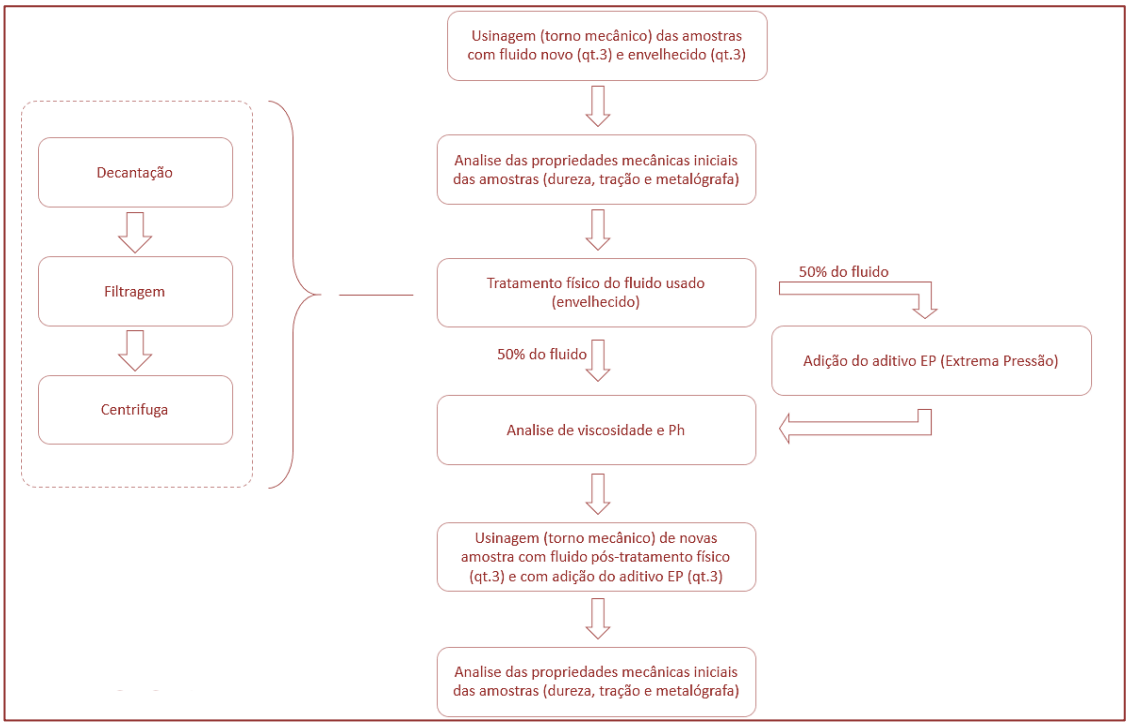
Para realização do primeiro teste foi utilizado o fluido de corte ALL15 EP novo durante o processo de usinagem do aço 1020 no torno mecânico.

A peça usinada foi presa ao torno e recebeu um desbaste feita por intermédio do inserto com pastilha intercambiável VNMG 160408, fabricada de metal duro e banhada em alumineto de titânio especial para inserto de torneamento com angulo lateral de 80°, espessura de 4,76mm, raio de canto 0,4mm, até chegar a dimensão de 2 mm, a uma rotação de 540 rpm, com uma vazão de fluido de 12 L/min para refrigerar a peça e a ferramenta.

A peça usinada foi submetida aos testes de dureza, metalógrafia e tração a fim de verificar como as propriedades do aço estão após o processo. E o fluido foi destinado ao tratamento adequado para ser reaproveitado.

O reaproveitamento do fluido foi feito de duas maneiras, metade da amostra do fluido já utilizado foi submetido a tratamentos físicos somados a um aditivo e os outros 50% foi destinado apenas para o tratamento físico que seguem os processos de sedimentação, filtragem e centrífuga demonstrados na Figura 10.

Figura 10: Fluxograma



Fonte: Elaborado pelos autores

A partir do tratamento do fluido foram refeitos os testes com o aço no torno, para observar como as propriedades mecânicas do aço se comportaram e avaliar todos as diferenças ocasionadas por etapa que o fluido foi utilizado nas peças, visando encontrar o procedimento que manteve as características mais próximas do fluido virgem.

Após a realização de todo o processo cada amostra será submetida a testes e analises mecânicas para que sejam verificados as propriedades e o impacto que o fluido proporcionou na amostra.

Dentre as análises a serem realizadas podemos ressaltar a analise metalógrafica esta será realizada com o intuito de verificar possíveis danos causados na superfície do material por meio das solicitações térmicas e mecânicas as quais foram submetidas. Os danos causados a uma superfície podem provocar alterações micro estruturais que comprometem diretamente a integridade e funcionalidade da peça. A forma de aplicação, a velocidade, a vazão do fluido de corte, o estado e tipo do fluido, e as ferramentas utilizadas no processo de usinagem no geral, podem influenciar as solicitações térmicas e mecânicas da peça quando estas submetidas a tipologias distintas do fluido em estudo.

Amostras de todas as condições foram cortadas utilizando disco de corte apropriado e máquina de poli corte, e posteriormente submetidas a procedimentos metalógraficos, embutidas, lixadas com lixas de diferentes granulometrias (220, 320, 400 e 600), polidas em uma máquina politriz com alumina com granulometria entre 1 e 3µm.

Todas as amostras foram atacadas quimicamente utilizando o reagente Nital 3%. Posteriormente as imagens foram obtidas por intermédio de um microscópio óptico com o aumento de 200X para uma prévia visualização da microestrutura e caso necessário retornaria ao procedimento, assim como a metalógrafia revelam propriedades

importantes do material que caracteriza se o tratamento do fluido foi eficaz ou não os testes de tração e dureza também foram realizados nas amostras com o intuito de analisar o quanto o fluido impactou no material em ambos os estados envelhecido, tratado e com aditivo.

3.4. RESULTADOS ALCANÇADOS ACERCA DA REDUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE OLEOSOS

Para a coleta do fluido algumas dificuldades foram encontradas em, posicionar o recipiente graduado, de uma forma que colete por completo os exatos 1000ml do fluido UNIMAX SAE 10W, tendo em vista o movimento rotacional do torno mecânico que projeta o fluido para os lados.

Seguindo após o processo de filtração nota-se que ficaram depositadas pequenas partículas no fundo do recipiente depois da etapa de decantação, mostrando na Figura 11 a sua eficácia mesmo com o processo de filtração simples.

Figura 11: Deposição das partículas de metal no fundo do recipiente pela técnica de decantação.

Fonte: Menezes (2016)

Os resultados descritos pela Tabela 3 descrevem os dois experimentos feitos por MENEZES (2016), o processo com o óleo integral foi o utilizado, pois aproxima-se mais do fluido que vamos apresentar como melhoria.

Tabela 3: Resultados das análises de pH

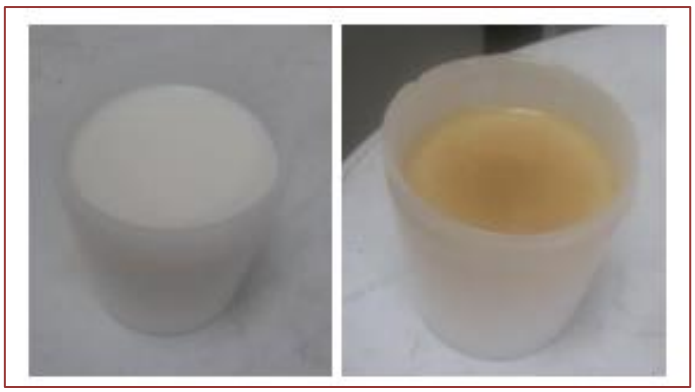
pH				
Fluido de corte	**1**	**2**	**3**	**Média**
Óleo Integral Novo	5,46	5,39	5,35	5,40
Óleo Integral Usado e filtrado	6,05	5,97	5,99	6,00
Óleo Solúvel Novo	7,75	7,74	7,71	7,73
Óleo Solúvel usado e filtrado	7,25	7,22	7,18	7,22

Fonte: Menezes (2016)

A análise de pH dos fluidos de corte teve uma variação nos seus valores que segundo o Menezes (2016), já era esperado pois existiam fatores sendo eles o ataque de microbactérias que ocorreu no período que o fluido ficou de repouso entre o dia da coleta, filtragem até serem feitas as análises, 7 dias ao todo.

Devido ao período de 7 dias que o fluido foi coletado, Menezes (2016) notou uma mudança na coloração da emulsão de água mais óleo, de esbranquiçada para amarelada, explicando o fato de pequenas partículas de óleo separar-se da água, ou seja, a mistura começava a apresentar duas fases ilustrado pela Figura 12.

Figura 12: Fluido recém-filtrado x fluido 7 dias após a filtração



Fonte: Menezes (2016)

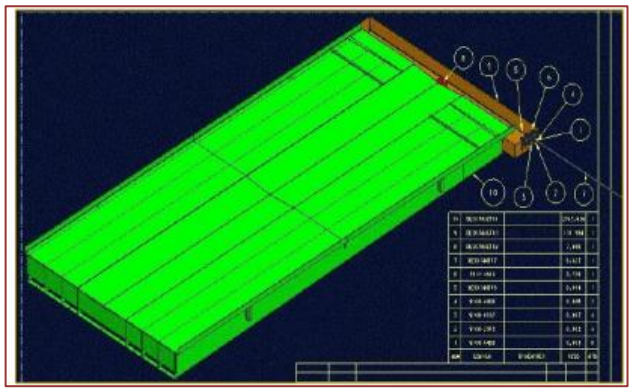
3.5. RESULTADOS ALCANÇADOS NA REDUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE OLEOSOS

A partir do acompanhamento do processo descrito por Menezes (2016), foi possível fazer ponderações que podem levar a criação de melhorias para que o reaproveitamento do fluido seja eficaz com a otimize tempo de movimentação para o descarte do cavaco e diminuição dos custos.

Diante de um mapeamento e feito por Martins et. al. (2017), foi possível sugerir melhorias demonstrando a importância de desenvolver um sistema de armazenagem eficaz, para os resíduos de usinagem (cavaco) além da separação do mesmo do fluido de corte.

O projeto feito por Martins et. al. (2017), consiste com a utilização de uma plataforma que serve como base para apoio do contêiner e absorção do fluído de refrigeração de corte, desta forma evitando que o fluido de corte escoa para o meio ambiente, assim prevenindo possíveis danos ao meio ambientais e podendo ser levado para um tratamento e depois ser reutilizado. A base foi criada com uma inclinação de 15°, para que por meio de gravidade, todo fluido liquido, seja separado da sucata, foi criado para suportar até 8 toneladas é pesava em torno de 6 toneladas, demonstrado pelo o desenho técnico da Figura 13.

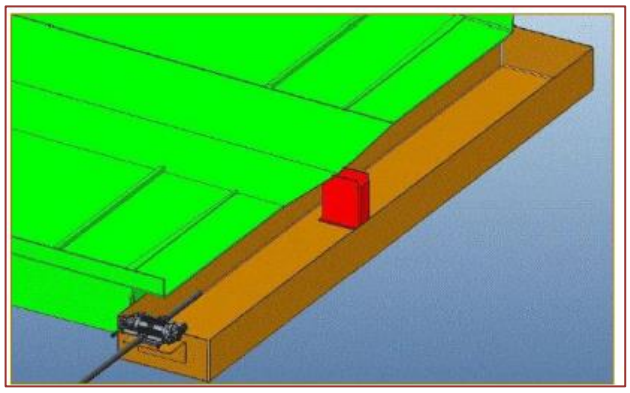
Figura 13: Base para alocação do contêiner



Fonte: Martin *et. al*. (2017)

Todo o fluido de corte é alocado na caixa de contenção ilustrado na Figura 14, que possui capacidade de 40 litros, é armazenado em reservatório de 1000 litros, para o reaproveitamento deste fluido no setor usinagem, é necessário apenas verificar o pH do fluído.

Figura 14: Caixa de contenção



Fonte: Martin *et. al*. (2017)

A Tabela 3 mostra uma comparação entre o processo antigo e o processo novo no primeiro ano da sua implementação.

Tabela 3: Resultado das melhorias implementadas

	Processo Antigo		Processo Novo	
Custo hora logistica R$:32,34/60min=R$:0,54min				
Descrição	Tempo	Valor	Tempo	Valor
Processo de Movimentação da Sucata	00:07:27	R$ 3,92	00:03:12	R$ 1,84
A operação é executada 3 vezes ao dia				
Total por dia	00:22:21	R$ 11,78	00:08:39	R$ 4,53
Total por mês, sendo 20 dias úteis	07:27:00	R$ 240,96	04:48:00	R$ 155,28
Total por mês ano	87:24:00	R$ 2.826,54	37:34:00	R$ 1.214,94
	Processo Antigo		**Processo Novo**	
Custo do Litro de Fuido de Corte R$:0,58l				
Descrição	Quant.em litros	Valor	Quant.em litros	Valor
Fluido de Corte utilizado por mês	16000	R$ 9.280,00	14000	R$ 8.120,00
Fluido de Corte utilizado por ano	192000	R$ 111.360,00	168000	R$ 97.440,00

Fonte: Martin *et. al*. (2017)

Sabendo que trata-se de um projeto para uma empresa de grande porte é possível mensurar os benefícios para otimizar tempo e custos, e aplicá-la em uma empresa de menor escala, mas traria benefícios como os descritos pela análise feita por Martins *et. al*. (2017).

REFERÊNCIAS

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10004: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

[2] AGUIAR, M.; NOVAES, A.; GUARINO, A.. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por alumino silicatos. Quím. Nova, São Paulo, v. 25, n. 6b, p. 1145-1154, Dec. 2002 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000700015&lng=en&nrm=iso>.

[3] BARBOZA, G.. "Reaproveitamento de Fluidos de Corte na Indústria Metalúrgica". Cutting fluids: Part II. Recycling and clean machining Journal of Materials Processing Technology, ISSN: 0924-0136 Vol: 5, Issue: 1, Page: 798 -806, 1996.

[4] CAMBIELLA, A., BENITO, J., PAZOS, C., Coca, J. "Centrifugal Separation Efficiency in the Treatment of Waste Emulsified Oils," Chemical Engineering Research and Design, Vol. 84, No. 1, pp. 69- 76.

[5] COSTA, E. "Disciplina: Processo de Usinagem." Divinópolis, MG (2006).

[6] DINIZ, A.; MARCONDES, F.; COPPINI , N. Tecnologia da usinagem dos metais. 8 ed. São Paulo: Artiliber, 2014. 270 p.

[7] EDLINGER, A. et al. "Caracterização de efluente de Indústria Metalúrgica e proposta de tratamento." III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO. Vol. 1. 2012.

[8] EL BARADIE, M. Cutting fluids: part I. characterization. Journal of Material Processing Technology, Dublin, n. 56 p. 786-797, 1996a

[9] FRACARO, J. "Fabricação pelo processo de usinagem e meios de controle", Ed. Intersaberes, Curitiba, Brazil, 167 p. 2017.

[10] GONÇALVES, P. Boas Práticas ambientais na utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem, 2008. Xiv, 136f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Botucatu, 2008.

[11] IGNÁCIO, E. “Caracterização da legislação ambiental brasileira voltada para a utilização de fluido na indústria metal-mecânica”. 1998.

[12] Istituto Professionale per l'Industria e l'Artigianato, 2020, “CONDIZIONI DI LAVORO NELLA TORNITURA”. Disponível em: <http://www.istitutopesenti.edu.it/dipartimenti/meccanica/tecnologia/tornitura.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

[13] KEGLER, F. "Análise do torno mecânico convencional marca CLEVER Modelo L-2660A conforme exigências da norma regulamentadora de segurança em máquinas e equipamentos (NR-12)." (2018).

[14] KAMINSKI, D. "Proposta técnico econômica para adequação de torno mecânico convencional a norma NR 12." (2015).

[15] LIMA, V. Análise do Comportamento do Fluido de Corte Recuperado/ Reformulado no Processo de Retificação. 2013. 112f. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte

[16] LIMA, H. et al. Avaliação do desempenho do fluido de corte comercial e recuperado no processo de retificação. In VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. (2013).

[17] MARCELINO, L. Fluido de Corte Mineral Emulsionável: Monitoramento, Análise da Degradação, Reformulação e Estratégias de Aumento de Tempo de Vida no Processo de Retificação 2013. 128f. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

[18] MELO, D et al. “Fluidos de Corte”, Disponível em: https://pt.slideshare.net/uandersonmarques5/01-fluidos-de-corte

[19] MENEZES, S. "ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DE FLUIDO DE CORTE UTILIZADO NOS PROCESSOS DE USINAGEM."

[20] PIPBD e o Ensino de Química, Separação de mistura por decantação e sifonação, Disponível em: https://1.bp.blogspot.com/-GTJEPNwrQJo/V2lD_yCoM1I/AAAAAAAAEmU/fvKDhsthDvMe-jbeaNZJarngq4GxiUaFwCLcB/s1600/Capturar.PNG. Acessado em 12 de março de 2020.

[21] EVANS, C. Treatment of used cutting fluids and swarf. Techniques and typical equipment for separation, reclamation and recycling Tribology International, 10 (1) , pp. 33-37.

[22] TOCCHETTO, M. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais. Santa Maria: UFSM, 2005. 95 p. Curso de Química Industrial.

[23] MARTINS, R. Gestão da Produção em Foco Volume 29, p. 31.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson